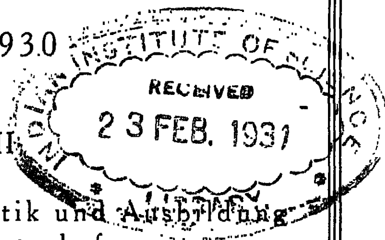
GESAMTBERICHT
ZWEITE WELTKRAFTKONFERENZ

TRANSACTIONS
SECOND WORLD POWER CONFERENCE

COMPTE RENDU
DEUXIÈME CONFÉRENCE MONDIALE DE L'ÉNERGIE

BERLIN 1930



BAND XVIII

Forschung, Normung, Statistik und Ausbildung in der Energiewirtschaft

Research, Standardisation, Statistics and Education in Power Economics

Recherches, normalisation, statistique et enseignement concernant la production et la distribution d'énergie



VDI-VERLAG GMBH
BERLIN NW 7

Schriftleitung — Editors — Rédacteurs
Dipl.-Ing. F. zur Nedden
Dr.-Ing. C. Th. Kromer

BAND XVIII

INHALTVERZEICHNIS
TABLE OF CONTENTS
TABLE DES MATIÈRES

Section 32

Forschungsarbeiten
Research Work
Travaux de recherches

Nr.	Berichte / Papers / Rapports		Seite/Page
357	Études expérimentales sur les sables imprégnés. France	*M. Louis*	3
124	Drei Jahre „Associazione Nazionale per il controllo della combustione" in Italien. Italien	*Ing. V. Grazioli*	14
145	Fuel Investigations and Research in Canada. Canada	*B. F. Haanel*	29
79	The Properties of Steam at High Pressure and Temperature. Great Britain	*G. S. Callendar*	37
243	Researches on Heat Transmission and Insulation. U. S. A.	*W. V. A. Kemp, Prof. W. H. McAdams, Prof. H. C. Hottel, Prof. R. H. Heilman*	47
306	Apparatus for Determining Thermal Conductivities and Specific Heats of Structural and Insulating Materials. Russia	*Ing. D. L. Timrot*	78
298	Die Erforschung der Gasbewegung in Heizapparaten nach Modellen. Russland	*Prof. M. W. Kirpitscheff*	97
264	Scientific Research in the United States on Gasoline Engines. U. S. A.	*H. C. Dickinson*	101
155	Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflußmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen. Norwegen	*Ing. J. Aastadt und Ing. R. Sögnen*	113
216	Contribution à l'étude de l'écoulement en déversoirs. Suisse	*Dr. M. Golaz*	130

Nr.		Seite/Page
2	Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy. Schweiz — *Dr.-Ing. A. Strickler*	137
181	Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne mit starken Neigungen (Schußtennen) und Berechnung der Selbstbelüftung des Wassers. Österreich — *Ing. R. Ehrenberger*	153
1	Vorschläge für die Bestimmung der Feststoffführung der Gewässer. Österreich — *Öster. Nat. Kom.*	170
307	Die Arbeiten des „ZAHI" auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie in der U. d. S. S. R. Rußland — *Ing. W. R. Sectorov*	179
428	Sunshine as a Heat-Source. Japan — *Prof. Dr. M. Oyama*	199
	Generalbericht	203
	General Report	211
	Rapport général	218
	Diskussionsbericht (Report on Discussion, Rapport de la discussion)	226
	Gesamtergebnis der Diskussion	227
	Result of Discussion	228
	Résultat de la discussion	228
	Prof. Dr.-Ing. Föttinger	

Section 33

Normungsprobleme und Methodik der Statistik
Standardisation Problems and the Rationalisation of statistics
Problèmes de la normalisation et méthodes de la statistique

	Berichte — Papers — Rapports	
106	The British Standardisation Movement and its Public Significance. Great Britain — *C. Le Maistre*	231
281	The Value of Standards for Power Economy in Technical Respects. U. S. A. — *L. L. Elden*	242
283	Government Interest in the Advancement of Standardisation. U. S. A. — *R. M. Hudson*	255
396	Beitrag zur Normung der Analysenmethoden fester Brennstoffe. Italien — *Dr. R. de Benedetti*	276
276	Standardisation of Requirements for Diesel Fuel. U. S. A. — *Capt. H. C. Dinger*	285
424	Specification of Fuel used for Diesel Engines. Japan — *Tetsuro Suwa*	289
302	Normalisierung der elektrotechnischen Erzeugnisse in der U. d. S. S.R. Rußland — *Dipl.-Ing. D. P. Friedmann*	300

Nr.			Seite/Page
197	Normung der Leistungsstufen bei Kraftmaschinen. Österreich	*Dr. R. Doczekal*	305
335	Über die Bearbeitung von elektrizitätswerkstatistischem Material. Dänemark	*Dipl.-Ing. P. Vinding*	310
368	Das Stufendiagramm als Hilfsmittel bei statistischen Untersuchungen. Schweden	*Dipl.-Ing. E. Velander*	338
383	Betriebsdaten argentinischer Elektrizitätswerke. Argentinien	*Dipl.-Ing. R. F. Ascher*	348
286	Methods of Collecting Power and Gas Statistics in the United States. U. S. A.	*P. Ryan and W. M. Carpenter*	357
389	Economic Aspects of Standardization in the Power Industry. U. S. A.	*M. Alexander*	377
414	World Power Statistics. U. S. A.	*M. Alexander*	384

Generalbericht 391
General Report 401
Rapport général 412

Diskussionsbericht (Report on Discussion, Rapport de la discussion) 422
Gesamtergebnis der Diskussion 426
Result of Discussion 427
Résultat de la discussion 428

Dr.-Ing. Neuhaus und Dr. Leisse

Section 34

Ausbildung
Education
Enseignement

	Berichte	Papers	Rapports
56	Technische Erziehung in Deutschland. Deutschland	*Prof. Dr.-Ing. C. Matschoss*	433
356	L'école des combustibles liquides de Strasbourg. France	*H. Weiss*	440
98	Training of Engineers in the London County Council Scheme of Technical Education, with Special Reference to Instruction in Generation, Transmission and Economics of Power. Great Britain	*G. H. Gater*	446
199	The Training of Gas Technicians. Great Britain	*F. W. Goodenough*	455
198	Rationalisierung der Arbeit im Sinne der Erhaltung der menschlichen Arbeitskraft. Österreich	*Prof. Dr. E. Brezina*	460

Nr. Seite/Page

322 Die elektrotechnische Bildung in der U. d. S. S. R.
Rußland *Prof. P. Ossadtschy* 471

284 Special Training Courses for Employees by Corporations and Associations and Correlation with General School System.
U. S. A. *J. P. Jackson, E. B. Luce, Prof. C. O. Ruggles and Prof. Vannevar Bush* 488

Generalbericht 539
General Report 546
Rapport général 553

Diskussionsbericht (Report on Discussion, Rapport de la discussion) 560
Gesamtergebnis der Diskussion 565
Result of Discussion 565
Résultat de la discussion 566

Prof. U. Lohse

Seite/Page

. 471

and Assoc-

Prof. C. O.
·evar Bush 488

. 539
. 546
. 553

discussion) 560
. 565
. 565
. 566

Section 32

FORSCHUNGSARBEITEN

RESEARCH WORK

TRAVAUX DE RECHERCHES

Vorsitzender — Chairman — Président

Dr. R. J. Johs. Jensen (Dänemark)

Stellvertr. Vorsitzender — Vice Chairman — Vice-Président

Ing. S. Jelic (Jugoslavien)

Beisitzer — Assistant — Assesseur

Prof. Dr.-Ing. L. Prandtl (Deutschland)

Generalberichterstatter — General Reporter — Rapporteur Général

Prof. Dr.-Ing. Föttinger (Deutschland)

France

Études expérimentales sur les sables imprégnés

Comité National Français

M. Louis

Il a été démontré que les gisements de pétrole épuisés par sondage contiennent encore une notable proportion d'huile brute, qui, pour les terrains constitués par du sable, peut être supérieure à la quantité extraite. Ainsi à Pechelbronn on évalue que l'huile restée dans le sol représente 70 à 75% de l'huile primitive.

On sera appelé un jour à extraire ces énormes quantités d'huile résiduelle. Il sera alors important de connaître le mode de saturation du sable. C'est ce problème que nous avons abordé dans la présente étude.

Les gisements de pétrole se présentent sous forme de couches de nature solide minérale, imprégnées par l'huile brute liquide avec ou sans gaz, qui peut être dissous dans l'huile ou occuper seul les pores de la roche au toit de la couche.

L'étude d'un pareil système devra comporter nécessairement l'étude des trois constituants en présence: roche, huile et gaz.

La roche peut se présenter sous forme compacte ou sous l'aspect de grains de sable plus ou moins agglomérés. Les facteurs qui vont intervenir sur la saturation sont: la porosité, la perméabilité, la grosseur des grains, leur nature, l'espace libre, etc.

Les huiles présentent des constantes physiques qui diffèrent dans des limites assez étroites, mais cependant leur influence est capitale. Les plus importantes sont: la densité, la viscosité et la tension superficielle.

Quant aux gaz naturels des gisements, leurs constantes physiques diffèrent aussi assez peu dans l'ensemble (densité, viscosité, solubilité).

D'autres facteurs indépendants des constituants viennent encore s'ajouter. Ce sont la température, la pression, les sels dissous, l'eau et les émulsions.

Le gisement se présente donc comme un phénomène très complexe et il paraît impossible de se placer à la fois dans toutes les conditions qui affectent l'équilibre du gite. Il devient dès lors logique de se placer dans des conditions expérimentales qui permettent la connaissance de l'action de chaque facteur. Après les avoir tous étudiés dans des recherches élémentaires, on pourra songer à appliquer les résultats obtenus à l'établissement des lois qui doivent régir les gisements de pétrole.

Étude de la roche

Ayant à notre disposition du sable pétrolifère de Pe
nous avons d'abord fait appel à cette matière. Ce sable est
se présente au microscope comme constitué à peu près total
de petits grains de quartz de grosseurs différentes. L'analys
métrique faite avec des tamis, nous a donné les résultats su

Poids du sable brut	206 g
Sable passé au tamis n° 20	45 g
Sable 20/40	75 g
Sable 40/60	48 g
Sable 60/80	22 g
Sable 80/100	6 g
Sable passé au tamis n° 100	10 g

Nous appelons sable 20/40, le sable passé au tamis de 20,
sur le tamis 40, sable 40/60 celui passé au tamis de 40 et r
tamis 60, etc... Les numéros de ces tamis représentent le
mailles par pouce linéaire français de 27,07 mm.

Le sable 20/40 aura donc des grains de diamètre compris e
et $\frac{27,07}{40}$ soit 1,35 et 0,7 mm.

Le sable 40/60 entre 0,7 et $\frac{27,07}{60}$ soit 0,45 m

Le sable 60/80 entre 0,45 et $\frac{27,07}{80}$ soit 0,34 m

Le sable 80/100 entre 0,34 et $\frac{27,07}{100}$ soit 0,27 mr

Ces chiffres nous servent à caractériser le sable· Dans l'inte
graphique des résultats, chaque catégorie de sable se trouve r
par une zone. Pour plus de commodité, nous avons songé à r
ces catégories par un diamètre représentatif. Nous le choisissc
étant celui qui sépare la catégorie en portions de poids ég
étant formée des grains les plus gros et l'autre des grains les

Si dans chaque fraction il y avait uniformité de grosseur
chaque diamètre pourrait être affecté d'un coëfficient de
probable, proportionnel au poids de la catégorie à laquelle il a

et inversement proportionnel à la variation possible du diam

On trouve alors comme coëfficient de présence probable:

Sable 20/40 $$\frac{m}{\Delta d} = \frac{75}{\frac{27}{20} - \frac{27}{40}} = 111$$

Sable 40/60 $$\frac{m}{\Delta d} = \frac{48}{\frac{27}{40} - \frac{27}{60}} = 213$$

Sable 60/80 $\qquad \dfrac{m}{\Delta d} = \dfrac{22}{\dfrac{27}{60} - \dfrac{27}{80}} = 195$

Sable 80/100 $\qquad \dfrac{m}{\Delta d} = \dfrac{6}{\dfrac{27}{80} - \dfrac{27}{100}} = 89$

Sable plus petit que 100 $\qquad \dfrac{m}{\Delta d} = \dfrac{10}{\dfrac{27}{100}} = 40\,.$

Fig. 1.

Portons ces coëfficients en ordonnée dans un système admettant pour abscisse les diamètres, nous obtenons Fig. 1. La teneur en grains de différents diamètres n'est pas discontinue comme le laisse supposer cette courbe en escalier, aussi nous pouvons la transformer en une courbe continue qui respecte les poids de chaque catégorie du sable.

D'après les coefficients probables du sable 40/60 nous voyons que le sable 20/40 doit contenir plus de grains fins que de gros. Le coëfficient du 60/80 indique que le 40/60 doit contenir plus de grains fins que de gros, etc. Si nous joignons les milieux des paliers de la courbe provisoire nous obtenons la courbe pointillée qui respecte les surfaces des rectangles. Sur cette courbe nous pouvons chercher les diamètres représentatifs dont l'ordonnée partage en deux parties égales la surface du trapèze

formé par la courbe, les ordonnées extrêmes et l'axe des
On trouve:

Catégorie:	Diamètre représentatif
20/40	0,93
40/60	0,56
60/80	0,40
80/100	0,31

Essais préliminaires

Nous avions tout d'abord pensé opérer directement avec
brute, mais devant la nécessité d'étudier l'influence des c
physiques du liquide nous nous sommes adressés à des li
composition bien définie: en premier lieu à l'eau, ensuite à
fabriquée à Pechelbronn dénommée Antar demi-fluide (densité d_1
viscosité Engler $E_{50} = 8,3$).

Mode opératoire

Un poids P de sable était placé dans un tube de verre verti
à sa partie inférieure par un bouchon (Fig. 2). Le sable re

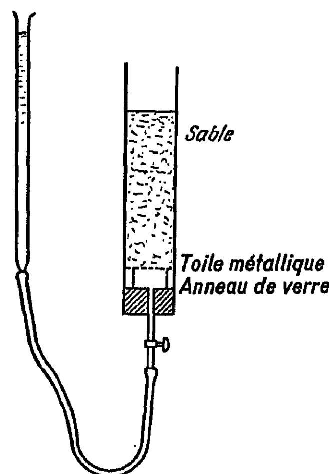


Fig. 2.

une toile métallique. On mesurait le volume apparent de sabl
la densité apparente d était déduite

$$d = \frac{P}{v}.$$

Le liquide était introduit lentement par le bas de la colonne ju
que son niveau atteigne la surface supérieure du sable, on en
volume et on faisait une pesée du tube comme vérification.
ouvrant le robinet inférieur, on notait la quantité de liquid
ainsi que la quantité demeurée dans le sable après égouttage.

Nous avons d'abord vérifié que les parois des tubes n'avaient pas d'influence, à condition naturellement, qu'ils ne soient pas capillaires. Les tubes que nous utilisons ont une section variant entre 254 mm² et 2,764.

Influence de la grosseur des grains

Nous avons cherché comment a varié l'imprégnation dans les différentes grosseurs des grains de sable en nous servant de l'eau comme liquide imprégnant. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus:

No. du sable	Densité apparente	Densité réelle	Tassement	Volume d'eau absorbé %	Volume d'eau égoutté %	Volume d'eau restant %	Temps d'égouttage
20—40	1,46	2,52	Faible	42,0	23,0	19,0	20 à 30
20—40	1,70	2,52	Fort	33,5	14,5	19,9	minutes
40—60	1,44	2,57	Faible	44,5	23,0	21,5	2 à 3
40—60	1,57	2,57	Fort	38,5	8,0	30,0	heures
60—80	1,40	2,59	Faible	46,0	24,0	22,5	3 à 6
60—80	1,58	2,59	Fort	38,5	7,0	31,5	heures
80—100	1,35	2,6	Faible	48,0	26,0	22,5	6 à 9
80—100	1,61	2,6	Fort	38,0	6,0	32,5	heures

Les erreurs de pesée sur le sable atteignent 0,5 g sur les poids de l'ordre de 200 à 500 g et le poids de l'eau absorbée variant de 30 à 100 g, l'erreur est comprise entre 2 et 5%.

D'après le tableau ci-dessus nous voyons que le volume de l'eau absorbée augmente avec la finesse des grains sous un faible tassement et à partir du sable 40/60, le volume restant est sensiblement le même. Sous fort tassement, la quantité d'eau absorbée est plus faible et la proportion de liquide restant est d'autant plus importante que les grains sont plus fins. Elle est toujours supérieure à celle qui reste sous faible tassement. Ceci au premier abord peut paraître anormal, mais s'explique par le fait que les vides sous fort tassement sont beaucoup plus petits et par conséquent s'imprègnent de moins d'eau, mais ils en retiennent davantage par augmentation des forces capillaires.

Il importait donc de se rendre compte de l'influence du tassement.

Influence du tassement

La grandeur qui nous intéresse est la variation du vide sous l'influence du tassement. Nous en avons fait l'étude.

Nous plaçons un poids de sable de 500 g dans une éprouvette graduée. Le volume apparent V_a varie entre deux limites. Le volume du vide V_v est fonction du volume apparent V_a puisque le volume réel V_r est constant.

$$V_v = V_a - V_r.$$

On détermine V_r en mesurant le volume occupé réellement par un poids de sable donné au moyen de la méthode du flacon. Nous avons trouvé:

Poids 500 g — Sable 20—40 $V_r = 198{,}4$ cm³ $d_r = 2{,}52$
40—60 194,2 2,57
60—80 193,0 2,59
80—100 192,3 2,6

Nous avons pu mesurer directement la variation du volume apparent de la façon suivante: En versant doucement du sable dans une éprouvette on lui fait occuper un volume apparent le plus grand V_a. Si on place le sable par couches minces qu'on tasse énergiquement on obtient alors le volume apparent minimum V_a que nous pouvons atteindre par les moyens à notre disposition.

Nous avons cherché aussi quel volume *probable* pouvait présenter 500 g de sable non soumis au tassement. L'éprouvette étant remplie en faisant 50 agitations on trouve:

Sable—20/40	V_a	Augmentation du vol. apparent par rapport au sable fortement tassé
dans 3 cas	330 cm³	13%
8 „	335 „	14 „
10 „	340 „	15 „
15 „	343 „	16 „
7 „	348 „	17 „
4 „	350 „	18 „
2 „	355 „	19 „
1 „	360 „	20 „

On en déduit que la valeur probable de V_a est de 342,4 cm³ et la valeur du vide probable V_p égale 42%. Ce chiffre est tout à fait en accord avec les expériences d'imprégnation.

Résultats avec les différents sables:

Sable	V_v	V_a	V_a	V_r	V_p
20—40	32—45%	295 cm³	359 cm³	342,4 cm³	42%
40—60	38—46 „	305 „	360 „	350,0 „	44 „
60—80	38—47 „	310 „	365 „	360,0 „	46 „
80—100	38—49 „	320 „	380 „	375,0 „	48 „

L'expérience montre donc que le vide probable est compris entre 40 et 50%. Voyons maintenant d'une façon théorique comment le vide peut varier.

Supposons les grains sphériques. Les positions extrêmes qu'ils peuvent prendre sont indiquées par les Fig. 3 et 4. Dans le premier cas le vide V_a a pour valeur

$$V_a = \frac{48 R^3 - 8 R^3}{48 R^3}$$

$$V_a = 48\,\%.$$

Dans le deuxième cas si nous considérons le volume de la tranche occupée par une épaisseur de grains nous voyons que le vide est égal au volume total de la tranche parallélipipédique moins le volume de 6 sphères, moins le volume de 6 secteurs latéraux et de 15 secteurs superficiels.

$$V_a = 48R^3 - \left[6\frac{4}{3}\pi R^3 + 6\pi R^3\left(2-\sqrt{3}\right) + 15\pi\frac{2}{3}R^3\left(2-\sqrt{3}\right)\right]$$

$$V_a = 20\,\%\,.$$

Or dans le cas d'un tassement très poussé jamais le vide n'atteint une valeur aussi faible, ceci est dû au fait que les grains ne sont pas rigoureusement sphériques mais ressemblent à des sphères coupées par un ou plusieurs plans et ces sphères se trouvent diminuées de un ou plusieurs secteurs.

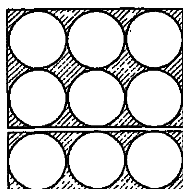


Fig. 3.

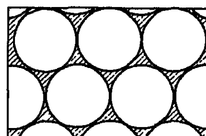


Fig. 4.

Le volume probable d'une de ces sections est

$$\frac{2}{3}\pi R^3 \frac{1{,}53}{4}$$

valeur qui se trouve être les 19% du volume total de la sphère. Il s'en suit que le vide augmente par chaque section plane d'une quantité probable égale à $0{,}80 \times 0{,}19 = 0{,}152$ soit 15,2%, et

pour la première section plane le vide devient $20 + 15{,}2 = 35{,}2$
pour la deuxième section plane $20 + 30{,}4 = 50{,}4$ et
pour la troisième section plane le vide atteint $20 + 45{,}2 = 65{,}6$.

Or l'expérience montre que le vide n'est que de 40 à 50%, prouvant par là que l'ensemble des grains 40 à 100 semblent sphériques et se comportent comme s'ils étaient coupés par une ou deux sections planes. Leur arrangement est conforme à la Fig. 4 en remarquant toutefois qu'il a pu être légèrement modifié par les nouveaux vides. C'est-à-dire que le vide ne sera pas égal à la valeur probable théorique trouvée ci-dessus mais à une valeur légèrement inférieure par suite d'un resserrement des grains.

Étude du degré de saturation d'une colonne de sable

Après un égouttage effectué suivant le mode opératoire décrit plus haut, on remarque nettement que la répartition du liquide entre les grains n'est pas uniforme. A la base de la colonne il est beaucoup plus abondant sur une faible épaisseur, puis il devient de plus en plus rare en s'élevant vers le sommet. Il nous a paru intéressant de rechercher comment variait cette saturation.

Appelons S le degré de saturation; ce sera le rapport entre le volume de liquide absorbé v et le volume apparent du sable V.

$$S = \frac{v}{V}.$$

Nous avons déterminé S suivant la hauteur du tube de la manière suivante: Le colonne de sable a été fractionnée en petits cylindres de 5 cm de hauteur (Fig. 5) qui ont été pesés; puis lavés, séchés et à nouveau pesés. La différence entre les poids indique la quantité de liquide retenu.

Pour plus de facilité nous avons remplacé le tube de verre par un cylindre en carton imprégné de paraffine, pour effectuer les expériences avec l'eau. Dans les essais avec l'huile nous avons utilisé la cellophane à la place du carton. Le résultat des essais est donné par les tableaux suivants:

Imprégnation par l'eau

Sable	No. de la tranche	Hauteur de la tranche centimètres	Saturation $S = \frac{v}{V}$	Moyenne
20—40	1	5,0	0,0584	18%
	2	5,0	0,0812	
	3	5,0	0,1136	
	4	5,0	0,1608	
	5	5,0	0,2160	
	6	2,5	0,2936	
	7	2,5	0,3048	
40—60	1	5,0	0,1127	30,5%
	2	5,0	0,1901	
	3	5,0	0,3028	
	4	5,0	0,3800	
	5	5,0	0,4014	
	6	2,5	0,4084	
	7	2,5	0,4104	
60—80	1	5,0	0,1120	32%
	2	5,0	0,1640	
	3	5,0	0,2480	
	4	5,0	0,3600	
	5	5,0	0,4480	
	6	2,5	0,4720	
	7	2,5	0,4760	
80—100	1	5,0	0,1272	34%
	2	5,0	0,1744	
	3	5,0	0,2776	
	4	5,0	0,4104	
	5	5,0	0,4816	
	6	2,5	0,5064	
	7	2,5	0,5160	

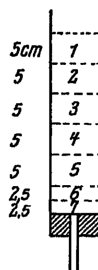


Fig. 5.

Imprégnation par l'huile demi-fluide

Sable	No. de la tranche	Hauteur de la tranche centimètres	Saturation $S = \frac{v}{V}$	Moyenne
20—40	1	5,0	0,0976	23%
	2	5,0	0,1184	
	3	5,0	0,1488	
	4	5,0	0,2016	
	5	5,0	0,3264	
	6	2,5	0,3672	
	7	2,5	0,3808	
40—60	1	5,0	0,1704	35%
	2	5,0	0,2568	
	3	5,0	0,3616	
	4	5,0	0,4112	
	5	5,0	0,4329	
	6	2,5	0,4384	
	7	2,5	0,4424	
60—80	1	5,0	0,1312	36%
	2	5,0	0,2216	
	3	5,0	0,3128	
	4	5,0	0,4240	
	5	5,0	0,4744	
	6	2,5	0,4882	
	7	2,5	0,4900	
80—100	1	5,0	0,1944	39%
	2	5,0	0,2320	
	3	5,0	0,3216	
	4	5,0	0,4616	
	5	5,0	0,5024	
	6	2,5	0,5208	
	7	2,5	0,5400	

La traduction de ces chiffres sur les Fig. 6, 7, 8 et 9, nous donne une série de courbes qui ont la même allure et toujours celle de l'huile est supérieure à celle de l'eau: le volume d'huile retenu est toujours plus grand que le volume d'eau.

Remarquons que la moyenne arithmétique des valeurs de S est précisément égale à la saturation moyenne donnée par les expériences précédentes, ce qui est une bonne vérification.

Si nous portons les saturations moyennes en ordonnées et les diamètres représentatifs définis plus haut en abscisses nous obtenons sensiblement deux droites (Fig. 10) qui indiquent que la saturation augmente avec la finesse des grains c'est-à-dire semble être inversement proportionnelle au diamètre des grains.

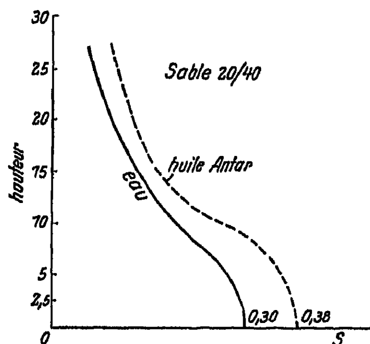


Fig. 6.

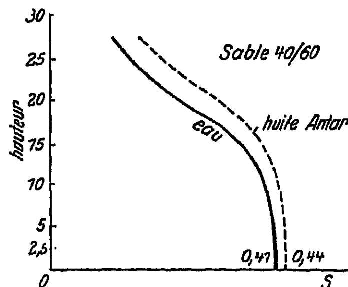


Fig. 7.

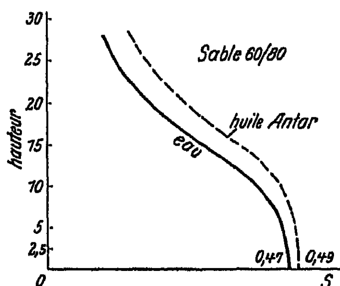


Fig. 8.

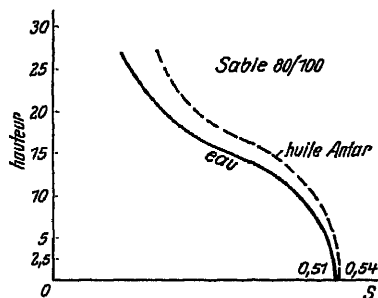


Fig. 9.

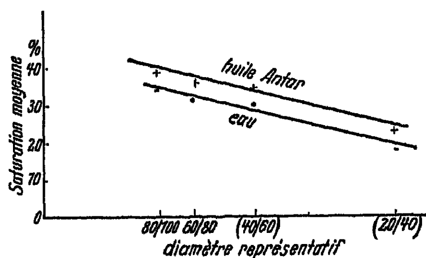


Fig. 10.

A la base du tube, la saturation est plus forte et si nous considérons les courbes 6, 7, 8 et 9 nous voyons que la différence entre la saturation à la base pour l'huile et l'eau diminue quand la finesse du grain augmente.

Si la saturation diminue avec la hauteur, la saturation moyenne n'est pas égale à la saturation de la couche placée à la moitié de la colonne.

Nous avons cherché a nous rendre compte de la loi de répartition du liquide suivant la hauteur. Les courbes semblent être formées de deux parties dont l'une, hyperbolique est de la forme,

$$S = \frac{1}{h^2} \cdot F,$$

où F dépendra des constantes physiques du liquide. Si nous désignons par α leur influence, F devra être tel que

$$\lim S = 0 \quad \text{pour} \quad h = +\infty$$

$$\text{et} \quad \lim S = c^h \quad \text{pour} \quad h = 0\,.$$

De plus pour h très petit, S devra avoir l'allure de la partie non hyperbolique de la courbe

$$\lim S' = +\infty \quad \text{pour} \quad h = 0\,.$$

On en déduit que F doit être de la forme

$$F = 1 - e^{-\alpha h^2},$$

alors

$$S = \frac{1}{h^2}(1 - e^{-\alpha h^2})\,.$$

Si h tend vers 0

$$\lim S = \frac{0}{0},$$

dont l'indétermination est levée quand

$$\lim S = \alpha \quad \text{pour} \quad h = 0\,,$$

ce qui signifie que α représente la saturation à la base de la colonne. Les valeurs de α ont été trouvées expérimentalement dans les essais précédents.

Il reste maintenant à déterminer la signification physique de α. De nos expériences en cours à ce sujet il semble bien que la viscosité n'intervienne pas et que, au contraire, la tension superficielle joue un rôle important.

Zusammenfassung

Die gegenwärtige Arbeit ist nur ein Beitrag zum Studium der Gesetze, welche die ausgepumpten Petroleumlager regieren; denn dieser Fall ist sehr interessant für die Gewinnung des Rohöles.

Wir haben mit Säulen kieselartigen Sandes gearbeitet, welcher mit bestimmten Flüssigkeiten durchfeuchtet wurde.

Der Einfluß des Sandes (Größe der Körner, Leere, Senkung) und derjenige der Flüssigkeit (Dichte, Zähigkeit, Kapillarität) wurde studiert.

Erhaltene Resultate:

1. Die Sättigung des Sandes nach dem Abtropfen wechselt mit der Größe der Körner. Sie ist um so größer, je kleiner die Körner sind.

2. Die Verteilung der Flüssigkeit je nach der Höhe der Säule ist nicht gleichmäßig. Sie ist reichlicher im unteren Teile der Säule. Das Gesetz der Verteilung scheint folgendes zu sein:

$$S = \frac{1}{H^2}(1 - e^{-\alpha H^2}),$$

worin H = Höhe der Säule,
α = Resultante der Faktoren der Flüssigkeit.

Italien

Drei Jahre „Associazione Nazionale per il controllo della combustione“ in Italien

Comitato Nazionale Italiano

Ing. V. Grazioli

In dem vielfach verzweigten organischen Wiederaufbau des wirtschaftlichen, politischen und sozialen Lebens, den die Kgl. Regierung zum Vorteile des Landes, unter unbeirrbarer Verfolgung ihrer Ziele, mit weitem Blick und in immer rascherem Zeitmaß vollzieht, ist unzweifelhaft das große Programm der Reformen und Vorsorgemaßnahmen zur Lösung der schwerwiegenden Frage der *Brennstoff-Ökonomie*, welches unter den Auspizien des hervorragenden Gelehrten und bewährten Technikers, Ministers Belluzzo nach und nach mit weitsichtiger Erfassung der Ziele verwirklicht wird, ein Faktor von hervorragender Bedeutung und ein Beitrag zum großen und endgültigen Gelingen in einem Lande, das wie Italien zwar an Hilfsquellen und kostbaren Kräften reich, doch beinahe über gar keine Kohlen verfügt.

Seit einiger Zeit, aber in besonderem Maße seit dem Ende des europäischen Krieges bewegt die Frage so die Geister, wie man wohl sagen kann, in der ganzen Welt; viel ist darüber gesprochen und geschrieben worden. Die besten technischen Zeitschriften behandeln das Problem mehr oder weniger ausführlich und unter den verschiedensten Gesichtspunkten. Es fehlte nicht an vielfachen Lösungsversuchen, an der Ausarbeitung von Studien und Experimenten, und manche hatten gute Erfolge darunter, zumal im Ausland, vor allem in Deutschland, in Frankreich und England, da sie genial und gut in der Anlage waren.

In Italien war vor dem Auftreten der faschistischen Regierung nichts Bestimmtes und Zielsicheres zu verzeichnen.

Die Vereinigungen der Dampfkesselbetriebe, 15 an der Zahl, die beinahe alle bei Einführung des Aufsichtszwanges für Dampferzeugungsanlagen (April 1890) und für Behälter (Juni 1897) zur Erhaltung der öffentlichen Sicherheit und zum Schutze der Arbeiter gegründet wurden, versäumten nie (zumindest nicht die größeren und besser organisierten, wie z. B. jene von Mailand, Bologna, Turin und Rom) eine Werbearbeit für die wirtschaftliche Verwendung der Brennstoffe, die sich jedoch nur auf die Erzeugung und den Verbrauch von Dampf erstreckte, und auch nur für die Angehörigen der betreffenden Institute.

In Italien bestand, ähnlich wie in anderen Ländern, bis zum Jahre 1926 eine zweifache Form der reglementmäßigen Aufsicht über die

Dampfkessel und Behälter aus Sicherheitsgründen. Es stand den Betrieben frei, sich zu einer freien Vereinigung zusammenzuschließen, welche gegen Bestätigung durch das zuständige Ministerium ermächtigt wurde, die Aufsicht im Sinne des Gesetzes über die bei ihr eingetragenen Apparate auszuüben, oder sie konnten sich, ohne sich an ein solches im eigenen Bezirke tätiges Institut zu binden, direkt der Aufsichtsbehörde unterstellen. Diese bediente sich bei Anwendung der Vorschriften der Mitwirkung von Zivilingenieuren, die, wenngleich sachverständig, sich nicht besonders für diesen ungemein heiklen Aufsichtsdienst an gefährlichen Apparaten, die eine gründliche Erfahrung und ein fortgesetztes vertieftes Studium erfordern, spezialisiert hatten.

Diese zweifache Ausübung der Aufsicht mußte erhebliche Unzuträglichkeiten mit sich bringen; sie trug dazu bei, trotz allen guten Willens der verdienten Regierungsorgane, denen die Oberaufsicht übertragen war — die Ingenieure des Kgl. Montandienstes zuerst, und später diejenigen des Industrie- und Arbeits-Inspektorats — jene Einheitlichkeit der Gesichtspunkte zu erschweren, die erst einen vollen Erfolg verbürgt.

Viele der zuvor erwähnten *Kesselvereinigungen* trugen leider das ihrige zur Desorganisation eines so wichtigen und verantwortungsvollen Dienstes bei, wie Verhütung von Kesselexplosionen und sonstigen Schäden: zu zahlreich und daher nicht stark genug, sehr verschieden nach dem Umfang ihres Arbeitsgebietes und somit der Anzahl der registrierten Mitglieder und Apparate, nach der Größe der Mittel und vor allem der Methode und Auffassung betreffend die zu lösenden Aufgaben, und dies trotz der Bemühungen um Vereinheitlichung von seiten des *Bundes* dieser Institute, welcher, obwohl aus den besten Absichten und mit der wirksamsten Zielsetzung geschaffen, es weder zustande brachte, sie zu einer Einheit zusammenzufassen, noch ihnen einen einzigen, geradeaus zum Ziele führenden Weg zu weisen und einen genauen und bestimmten Begriff ihrer Aufgabe zu geben.

Aus diesem Grunde blieb der Erfolg der immerhin anerkennenswerten Bemühungen und für die Ausübung einer ersprießlichen Aufsicht (sowohl in Richtung der Sicherheit als auch der Wirtschaftlichkeit) best gerüsteten Vereinigungen gering; der Sicherheitsdienst wurde sehr ungleich aufgefaßt und noch ungleicher ausgeführt; dieser betrifft die Kontrolle einer rationellen Brennstoffverwertung und konnte im allgemeinen nur sehr bescheidene Ergebnisse verzeichnen, in Anbetracht der dringenden Notwendigkeiten der zu neuem und stärkerem Leben erwachten Nation.

Dies alles sah und erfaßte die faschistische Regierung mit jener raschen und sicheren Intuition, die eine ihrer wertvollsten Eigenschaften ist, und indem sie aus der nicht unerheblichen, von den alten Kesselvereinigungen geleisteten Arbeit den größten Nutzen zog, beschloß sie deren Verschmelzung zu einer einzigen Körperschaft mit Namen „*Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione*“ (Nationale Vereinigung für Verbrennungskontrolle).

Dieses neue, genial erdachte Institut sollte — obwohl aus den vorerwähnten Vereinigungen entstanden — etwas vollkommen Neues sein, doch zugleich auch Reifes, dank der vorausgehenden kostbaren und zweifellos notwendigen Erfahrung; in der *Associazione Nazionale* verschmolzen, wohl organisiert und in Übereinstimmung gebracht, die alten, mehr denn je unentbehrlichen Funktionen der reglementären Aufsicht im Hinblick auf die Sicherheit der Dampfkessel nebst den verschiedenartigsten anderen Apparaten mit den neuen ungemein wichtigen Betätigungen auf dem Gebiet der Brennstoffwirtschaft.

Vielleicht war der Name der großen nationalen Vereinigung nicht ganz glücklich gewählt, da er, wie auch wirklich geschehen, manches Mißverständnis bei denen hervorrufen konnte, welche, ohne den inneren Aufbau und die vielfachen Zwecke zu kennen, ihr bloß die ausschließliche Funktion beimaßen, auf dem Gebiet der thermischen Kontrolle zu wirken, obwohl diese Tätigkeit den neuen und genialen, ja kühnsten Teil ihrer Konzeption bildet.

In der Tat besteht in keinem Lande eine zwangsläufige, bestimmt und teilweise parallel mit der Sicherheitsaufsicht geregelte Aufsicht hinsichtlich der Brennstoffökonomie; um sie zu schaffen und in vollkommener Disziplin seitens der Beteiligten zur Annahme zu bringen, bedurfte es des tatkräftigen und starken Willens der Regierung.

So entstand die Lex Belluzzo vom 9. Juli 1926 Nr. 1331, welche, indem sie die *Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione* schuf und sie mit der obenerwähnten, zweifachen Aufgabe betraute, zugleich der Tätigkeit der freien Sachverständigen und der früheren Kesselvereinigungen, welche, wie gesagt, in der neuen Körperschaft aufgingen, ein Ende machte.

Auf das Gesetz folgte die Verordnung vom 12. Mai 1927 Nr. 824 zur Regelung des weiten Arbeitsgebietes, sowohl hinsichtlich der Sicherheitsvorkehrungen als auch der thermischen Kontrolle; diese zwei Zielsetzungen sind nicht leicht miteinander in Einklang zu bringen und nicht ohne Mühe praktisch zu verwirklichen: Schwierigkeiten, die der gute Wille der Techniker, welche mit der Durchführung betraut sind, nunmehr in jeder Richtung gut überwindet.

So wird denn die Zwangsaufsicht auf beiden Gebieten von den Industriellen als eine wahre Wohltat empfunden, welche in den Ingenieuren der Vereinigung ihre besten Freunde und willkommensten Berater erblicken.

Die durch das obenerwähnte Gesetz als *Zwangsgemeinschaft der Betriebe mit Druckapparaten und thermischen Anlagen* mit dem doppelten Zweck der Sicherheit- und thermischen Kontrolle geschaffene Vereinigung zählt nunmehr über 30 000 Mitglieder mit 80 000 Apparaten, von denen ungefähr ¾ der Sicherheitsaufsicht unterstehen und der Rest der thermischen Kontrolle, wobei stets die Möglichkeit von Ausnahmen und Befreiungen mit praktischem Sinn auf Grund bestimmter Voraussetzungen für jene kleinen Apparate oder Anlagen in der Verordnung vorbehalten ist, deren Brennstoffverbrauch zu gering ist, um

die Last einer Beaufsichtigung zu rechtfertigen, die als eine Wohltat für die Industrie gedacht ist und nicht als eine Besteuerung oder unnütze Behinderung.

Die Organe der Vereinigung, welche der unmittelbaren Aufsicht des Ministeriums untersteht, sind:

Der Verwaltungsrat, dessen Präsident vom Minister direkt ernannt wird; dieser erwählt aus seiner Mitte ein *Exekutiv-Komitee* für die dringendsten Verwaltungssachen und für jene der laufenden Verwaltung.

Der Technische Rat, dessen Präsident gleichfalls vom Minister ernannt wird, besteht aus den Direktoren der 11 regionalen Sektionen, in die das große nationale Institut eingeteilt ist, um dessen Tätigkeit leichter und beweglicher zu gestalten.

Das erstere Organ, der Verwaltungsrat und sein Präsidial-Komitee, hat begreiflicherweise vorwiegend administrative Agenden; das letztere, unter der Leitung seines Präsidenten stehende, obliegt sämtlichen technischen, sehr umfangreichen und wichtigen Aufgaben, die ihm in klarer und bestimmter Weise durch das Gesetz und die einschlägigen Verordnungen zugewiesen sind.

So stellen sich die Grundzüge des neuen Organismus klar und deutlich dar, in der Scheidung eindeutig umschriebener Aufgaben, deren aller Durchführung selbstverständlich der obersten Aufsicht durch den Präsidenten der Vereinigung untersteht.

Natürlich sind auch ein *Revisoren-*, ein *Vertrauensmänner-Kollegium* und ein *Disziplinarrat* vorgesehen, unentbehrliche Organe für den Bestand der Körperschaft, deren ordnungsmäßige Tätigkeit sie nach jeder Richtung hin zu gewährleisten haben.

Das Gesetz vom 9. Juli 1926 behandelt die Grundsätze betreffend den Erwerb, die Ersetzung und Anlage der Druck- und Wärmeapparate, welche dann durch die Verordnung und die darauf folgenden Ministerialdekrete in ihren Einzelheiten geregelt und bestimmt sind, welche das Gesetz ergänzen und durch wohlerwogene Maßnahmen den Erfordernissen der Zeit entsprechen.

Nachdem hiermit der Aufbau des Nationalinstitutes dargelegt und die wesentlichsten ihm gesetzten Zwecke beschrieben worden sind, erübrigt noch eine Betrachtung seiner Leistungen während der ersten 3 Jahre seines Bestehens. Genau betrachtet, sind es nicht einmal 3 Jahre, da das Institut am Anfange der Dreijahresfrist 1927—29, die bei Abfassung dieses Berichtes noch nicht abgelaufen ist, durch die unvermeidlichen Anfangsschwierigkeiten behindert war, welche im Juli 1927 dank der rührigen und umsichtigen Tätigkeit des gegenwärtigen Präsidenten der Vereinigung, *Gr. Uff. Ing. Carlo Tarlarini,* eines hervorragenden Technikers und Industriellen von weitem, klarem Blick, mit Sicherheit überwunden wurden.

Einen erheblichen Anteil an dieser endgültigen Einrichtung und Organisation hat der Technische Rat, der durch die Aufnahme der 11 Sektionsvorstände, die aus den vorzüglichsten Gelehrten und bewährtesten Technikern aus beiden Wirkungsgebieten der Vereinigung

gewählt werden, das Rückgrat ihres reich verästelten Organismus ist. Die Zusammenarbeit dieser Sektionsvorstände unter der Führung ihres Präsidenten in ihren zahlreichen (beinahe dreißig), und vor allem zweckfördernden und ergiebigen Zusammenkünften erleichtert den einzelnen ihre Aufgabe, verbürgt die Gleichartigkeit der Arbeit aller, wertet die Erfahrung jedes Einzelnen zum gemeinsamen Vorteil aus und verleiht der gesamten technischen Leitung der Vereinigung in Form und Wesen jenes Gleichmaß, welches der Lebensform der Nation entspricht.

Auf diese Weise gelang es, gleich im ersten Jahre auf dem Gebiet der Sicherheitsvorkehrung durch die beharrliche Arbeit der Sektionsvorstände und durch zweckmäßige, wohl bedachte *Instruktionen*, welche unter allen Ingenieuren der Vereinigung (über hundert) verbreitet wurden, jenes regelmäßige und organische Funktionieren der Sicherheitsaufsicht zu erreichen, dem bis dahin die Gleichartigkeit gefehlt hatte, die erforderlich wurde wegen der ungemeinen Wichtigkeit, zu welcher dieser Dienst durch zwei Tatsachen gelangt war, nämlich der weiteren Ausdehnung der Aufsicht über Druckapparate und der Ersetzung und Ergänzung, welche die neuen gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich des früheren Gesetzes über die öffentliche Sicherheit bewirkt hatten, und deren Durchführung unter der außerordentlich schweren Verantwortung, die ihr zugrunde liegt, dem neuen nationalen Institut übertragen wurde.

Die Tätigkeit der Vereinigung auf diesem ersteren, ungemein großen Arbeitsfeld entfaltet sich nicht bloß in den, wenn auch noch so verzweigten und vielfachen reglementsmäßigen Formen, noch in den gleichfalls zahlreichen Versuchen und Inspektionen (beinahe 100 000 im Jahre), sondern in der gleichfalls ungemein werktätigen Beratung auf mündlichem und schriftlichem Wege, mit und ohne Lokalbesichtigungen durch die Vorstände und ihre dienstältesten und bewährtesten Mitarbeiter und in dem gesamten Arbeitsgebiet, welches das Studium der lebenswichtigsten Fragen anbelangt, die unter irgendeinem Gesichtspunkt mit der Sicherheit der Druckapparate zusammenhängen. Die Vereinigung konnte und kann sich nicht der Verfolgung jener schwerwiegenden Fragen entziehen, die ihren Ursprung in der modernen Entwicklung der Dampfkessel haben, welche interessante Erscheinung die gesamte Konstruktionstechnik dieser Apparate, sowohl wegen der hohen zur Anwendung gelangenden Drucke und Temperaturen, als auch wegen der Größe der in Betracht kommenden Einheiten und deren spezifischen Kapazitäten und demnach der zur Verwendung kommenden Materialien betrifft. Vermittelst des Technischen Rates und insbesondere dessen Präsidenten, der ein ganzes *Arbeits- und Studien-Programm* auch für diesen wichtigsten Teil seiner Tätigkeit ausgearbeitet hat, widmete und widmet sie sich noch mit großem Eifer Fragen von hohem technischen und nationalen Interesse: sowohl durch laufende Versuche an beschädigten Stücken, die eines besonderen Studiums wert erscheinen, als auch an alten Kesseln, um womöglich eine Gesetzmäßigkeit ihres Verschleißes und die

Grenzen der Möglichkeit einer eventuellen weiteren Zulassung zum Betriebe festzustellen. Ferner Versuche an Stücken, die mit Lötung oder elektrischer Schweißung repariert oder gebaut worden waren. Ausarbeitung von *Abnahme-Normen* für die verschiedenen Baustoffe für Kessel und Druckbehälter. Dies in Zusammenarbeit mit der verdienten Vereinheitlichungs-Kommission (Comitato di Unificazione „U. N. I. M.“), dem Hauptorgan für die Erledigung dieser Sonderaufgabe.

Auch ein anderer Faktor von größter Wichtigkeit für die Gewährleistung der Sicherheit und ein schätzenswertes Mittel für die Erhaltung der thermischen Apparate und Anlagen in gutem Betriebszustand und bedeutender Wichtigkeit für die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit wurde nicht vergessen: die Erhöhung der Fachkenntnisse der Betriebsführer von Kesselanlagen, die bekanntlich in Italien verpflichtet sind, ein Befähigungszeugnis durch Ablegung einer amtlichen Prüfung zu erwerben, bei welcher allzuhäufig die betrübliche Unkenntnis der elementarsten Prinzipien der Physik und angewandten Wärmelehre festgestellt wird.

Zweierlei sind die hierzu gewählten Mittel: Mündlicher Unterricht in geeigneten *Schulen*, die von der Vereinigung gefördert und unterstützt werden oder in welchen etliche ihrer Techniker, welche die beste Eignung für den volkstümlichen Unterricht haben, ihr Lehramt verwalten, und die *Belehrung durch Bücher und Broschüren*. Nachdem es heute zu diesem Zweck an einem *Handbuch*, das den heutigen Erfordernissen entspricht, fehlt, hat die nationale Vereinigung ein *Preisausschreiben* veranstaltet, um die Schulen mit einem geeigneten Lehrbuch zu versehen und den intelligenteren oder strebsameren künftigen Heizern ein Mittel in die Hand zu geben, ihre heute allzu bescheidenen Kenntnisse zu erweitern. Bisher hatte es an einer vollständigen und auf dem laufenden gehaltenen Statistik der Dampfkessel und -behälter in Italien gefehlt; eine begreifliche Lücke in Anbetracht der Unzulänglichkeit des früheren Aufsichtsdienstes und der zweifachen Form, in welcher dieser vollzogen wurde.

Dafür hat die Vereinigung in diesem, dem dritten Jahre ihres Bestehens gesorgt, nachdem sie alle in Betracht kommenden Nachweise geprüft, die allenfalls bisher der Kontrolle entgangenen Apparate in dieselbe einbegriffen, die Archive der Sektionen überall nach dem gleichen System organisiert und geordnet und in jeder von ihnen einen regelmäßigen Dienst statistischer Erhebungen eingerichtet hatte. Bei diesen wird mit sachgemäßen Unterscheidungen vorgegangen, je nach den verschiedenen Gesichtspunkten, unter denen der Dampfapparat betrachtet werden kann: nach dem Typ, nach der mechanischen Charakteristik, nach Konstruktion und Herkunft, nach der Anlage und industriellen Bestimmung. Dies alles in vollstem Einvernehmen mit dem verdienten *Kgl. Zentral-Institut für Statistik*, welchem hiermit ein, wenn auch bescheidener, doch interessanter Beitrag zur gewaltigen Arbeit geleistet wird, welche es infolge des ihm von der Regierung verliehenen Impulses auf alle Betätigungsgebiete der Nation erstreckt.

Die *Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione* betrachtet jedoch die Erfüllung der ihr anvertrauten Aufgabe als Bürgerpflicht und Ehrentitel, der sie ihren Namen dankt und die eine der genialsten Einrichtungen der faschistischen Regierung ist.

Dieses Betätigungsfeld der jungen Vereinigung ist ebenso neu in der Technik und Gesetzgebung, als interessant und verheißungsvoll.

Die Neuheit der Bestimmungen sucht der II. Titel der Verordnung, betreffend die thermische Kontrolle, in einfache und sinnvolle Formeln zusammenzufassen, wobei es, wie schon angedeutet, eine besondere Schwierigkeit für die Formulierung bildete, daß, zumindest für die zwangläufige, vom italienischen Gesetz gewollte Form jegliche Erfahrung aus gleichgerichteten Bestrebungen im Auslande fehlte. Dies hat in den ersten drei Jahren des Bestehens der neuen Körperschaft den Grund der anscheinenden Langsamkeit gebildet, mit welcher sie nach und nach schärfer ihre Gestalt umreißend, in allmählich beschleunigterem Tempo ihre hochwichtige Aufgabe verwirklicht.

Die Einrichtung des neuen Dienstes in den Sektionen und abgesonderten Abteilungen des betreffenden Archivs, die Instruktionen des Technischen Rates an die mit der Kontrolle betrauten Ingenieure, die in der Verordnung vorgesehene, nunmehr beendete Durchführung der allgemeinen Überprüfung aller angemeldeten thermischen Anlagen und die im Gange befindliche der physischen und chemischen Untersuchungen ist eine Arbeit von einigem Umfange, welche immer Fleiß, Überlegung und nicht wenig Zeit erfordert hat und noch erfordert.

Die *erste reglementmäßige Arbeit,* als welche das Gesetz höchst zweckmäßiger Weise die *Übernahme der Anlagen* bestimmt, ist eine überaus heikle, minutiöse Arbeit, welche von den Technikern der Vereinigung die größte Sorgfalt verlangte. Sie hat den Organen der Vereinigung zuerst Gelegenheit gegeben, mit den Leitern der zu kontrollierenden Anlagen unmittelbar Fühlung zu nehmen und in dieser Weise jene eventuellen Reibungen oder jenes Mißtrauen zu beseitigen, das in manchen Mitgliedern als Überrest alter und unbegründeter Vorurteile verblieben war; und sie werben mit den überzeugendsten Mitteln auf Grund von Studien, Erfahrungen, Ratschlägen, deren Zweckmäßigkeit nach und nach während der Durchführung der Übernahme der Anlagen sich ergab, so daß die anfängliche Voreingenommenheit gegen das Gesetz sich in werktätige Mitarbeit bei seiner durchgreifenden Verwirklichung und volles Vertrauen in seinen Erfolg verwandelte.

Diese minutiöse und geduldige Einzelberatung, die beim Publikum vielleicht wenig bekannt, dafür aber bei den Betriebsleitern um so geschätzter ist, bildet eine Ergänzung oder einen Anhang des reglementmäßigen Dienstes im engeren Sinne, und ihre Wirksamkeit ist bei aller Bescheidenheit sehr nutzbringend und wird mit der Zeit unzweifelhaft sich fruchtbar erweisen. Ihr Ertrag wird wohl nicht sofort augenscheinlich werden, aber von erheblicher Bedeutung sein, nicht anders als dies schon bei der Sicherheitsaufsicht über die Dampfapparate gewesen ist.

auf welchem Gebiete man in Italien seit etwas mehr als einem Jahrzehnt die nicht geringen Ergebnisse einer langjährigen nachdrücklichen Werbearbeit einheimst.

Gleichwie bei der Sicherheitsaufsicht erschöpft sich die Verbrennungskontrolle bestimmt nicht in den reglementmäßig festgelegten Formeln und Arbeiten, wenngleich diese Definition der strikte vom Gesetz vorgeschriebenen Aufgaben notwendig und aus den vorerwähnten Gründen von unzweifelhafter Wirksamkeit war, doch wird sie durch ein vollständiges Arbeitsprogramm, welches schon während der Anfänge der Vereinigung in geeigneter Weise entworfen wurde und die vollste Zustimmung seitens des Präsidenten des Technischen Rates fand, ergänzt und vervollständigt, um die Hauptlinien im Betätigungsplan anzugeben, der sich gleichlaufend und gemeinsam mit der reglementmäßigen technischen Arbeit abwickelt.

Wenn man einen Vergleich zwischen den in jenem Programm aufgestellten Zielen und dem zieht, was der nationalen Vereinigung trotz der unvermeidlichen anfänglichen Schwierigkeiten zu verwirklichen gelungen ist und was sie in beschleunigtem Tempo fortsetzt, kann man wohl von deren weiterer Entwicklung manche bedeutende und unvergängliche Vorteile für die Wirtschaft der Nation erwarten.

Hier werden bloß summarisch und kaum mehr als die erwähnenswertesten Hauptpunkte angeführt.

Vor allem sei der Betätigung der Vereinigung auf dem Gebiete der Fachbildung gedacht, die zu ihren wesentlichsten Aufgaben gehört und der sie während dieser drei Jahre ihres Bestehens in verschiedener Weise obgelegen hat. Die Herausgabe einer bereits fast vergriffenen Auflage von dreitausend Exemplaren des Werkes „*Il Controllo della Combustione*" (die Verbrennungskontrolle) von Herrn Direktor Ing. Vittorio Argnani stellt die bemerkenswerteste Leistung auf diesem Betätigungsgebiete dar. Es ist dies eine bedeutende und sehr geschätzte, für die italienische Literatur durchaus neue Arbeit, die den Technikern der Vereinigung und allen denen, die sich mit angewandter Wärmelehre befassen, ein unentbehrlicher Führer ist.

Allmonatlich versendet die Vereinigung — in mehr als siebentausend Exemplaren — an alle industriellen Unternehmungen und an die bekanntesten Techniker, an verschiedene Institute und Schulen, die sich mit Wärmetechnik befassen, an die Ministerien, an die Provinzial-Wirtschaftsräte ihre offizielle Rundschau „*Il Calore*" („Die Wärme"), eine Zeitschrift, die sogleich ihren Platz unter den geschätztesten technischen Fachzeitschriften Italiens eingenommen hat und auch im Ausland wohl bekannt ist.

Die „*Sonderdrucke*" der Rundschau, von denen bisher mehr als dreißig erschienen sind, werden wegen der Aufsätze, die zumeist Originalbeiträge sind, sowie wegen der interessanten Versuche, die in ihnen verzeichnet und besprochen werden, gesucht. Sie bilden allmählich einen Grundstock von Arbeiten, der für den Fleiß und Kenntnisreichtum der Tech-

niker der Vereinigung zeugt, wie für deren lebhafte Teilnahme an lebenswichtigen Fragen der Betriebssicherheit und Brennstoffersparr

Die *Normen für die Prüfung und Genehmigung* thermischer Anla waren bisher in Italien ganz unbekannt. Alle, Industrielle, Erwer von Anlagen, Konstrukteure, Projekt- und Abnahme-Ingenieure, klagten deren Fehlen seit Jahren. Dies ist ein schwerer und bedau licher Mangel, dem die nationale Vereinigung nach und nach du die Arbeiten einer Kommission abhilft, welcher der Präsident il Technischen Rates vorsteht und die aus den Direktoren der A. N. C. den Vertretern der U. N. I. M. und aus Vertretern der Interessen besteht.

Bisher sind die Normen für Kesselanlagen ausgearbeitet, die n öffentlicher Erörterung durch die Sachverständigen versuchswe zur Anwendung gelangt sind, während die Normen für die Erprob und Genehmigung von Dampfturbinen und anderen Wärmekra maschinen in Ausarbeitung begriffen sind. Es werden Normen folg für Gaserzeugungsanstalten, Öfen, Ventilatoren usw. Dies alles st auch im Vergleich mit dem, was die fortgeschrittensten Staaten bis geleistet haben und noch leisten, ein weites Arbeitsgebiet für eventu experimentelle Forschungen und für die Formulierung zahlreicher bestimmter Direktiven dar und fügt sich so in den weiten Rahmen Vereinheitlichung, was unzweifelhaft, wenn auch schrittweise, ei wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der italienischen Produktion der Richtung einer rationellen Verwertung aller Wärmequellen bring wird.

Das *Studium der Öfen*, das im Vollzug der reglementmäßigen therm schen Kontrolle mit einer sonst kaum erreichbaren Fülle von Dat und Vergleichsmöglichkeiten vor sich geht, hat dazu geführt, in *Ziegelöfen* Verbrennungsmethoden einzuführen, die, wenngleich sie ke allgemeine Anwendung finden können, doch in vielen Fällen den Betr ben beträchtliche Ersparnisse ermöglichen (15—25 %), teils durch ersparten Kohlenmengen, teils durch die richtige und erfolgrei Verwendung geringwertiger heimischer Brennstoffe, was daher n jeder Richtung hin ein Vorteil ist.

Das Gesetz über die Gründung der nationalen Vereinigung Verbrennungskontrolle führt ausdrücklich unter den verschieden Zielen, die es betreffs der wirtschaftlichen Politik in bezug auf Brennstoffe und deren Verwertung verfolgt, auch die *Holzkohl erzeugung* an, die auch allmählich verbessert werden kann, wobei Ertrag erhöht und die wertvollen Nebenprodukte gewonnen werd können.

In Italien gelangen hierbei fast allgemein die Meiler zur Verwendun aus welchen hochqualifizierte, auch im Auslande sehr gesuchte Arbeit beträchtliche Ausbeuten erreichen. Heute geht es darum, allmähli diese alten Methoden durch modernere zu ersetzen, mit welchen d Menge und Qualität der Produktion verbessert, und auch Äste un somit alles Holz verwertet wird; dadurch wird erreicht, daß, sobal

dies möglich und wirtschaftlich ist, auch der Rohessig und Teer, die bisher verloren gingen, aufgefangen werden.

Gleich im ersten Jahre ihres Bestehens widmete sich die Vereinigung dem Studium der Frage, deren Lösung sie auf verschiedene Weise sucht. Bei Follonica und später in Terracina wurden mit besonderen tragbaren Öfen, die in Italien nach dem in Frankreich erfolgreichen Muster gebaut worden waren, Versuche angestellt, welche die Möglichkeit einer Verkohlung des Gezweiges mit günstigem Erfolg erwiesen, wobei ein vorzüglicher Brennstoff gewonnen wurde, der entweder ohne weiteres als solcher verwendet werden oder zu Eierbriketts für die Generatoren von Kraftfahrzeugen verarbeitet werden kann.

Weitere Versuche wurden in Cecina und Neapel unter der Leitung von Technikern der Vereinigung mit gleichfalls tragbaren Öfen zur Verkohlung des Holzes und Gewinnung der Nebenprodukte gemacht; die Resultate dieser Versuche stehen noch nicht fest, sind aber nicht ohne Aussicht auf Erfolg. Besser und in jeder Hinsicht vielversprechend sind die Ergebnisse der in großem Maßstabe im Kgl. Park zu Monza im Frühjahr 1929 anläßlich der X. Mailänder Mustermesse vorgenommenen Versuche, wobei die Vereinigung mit Unterstützung des nationalen Forst-Komitees, welchem Gr. Uff. Dr. Arnaldo Mussolini vorsteht, und des verdienten Touring-Club Italiano eine große *Ausstellung mit Wettbewerb* veranstaltete.

Im Kgl. Park zu Monza wurden 10 Metallöfen zahlreichen und sehr strengen Proben unterworfen, welche von den Ingenieuren der Vereinigung kontrolliert wurden, die darüber ausführlich in einer besonderen Arbeit berichteten. Am Wettbewerb nahmen außer 2 italienischen noch 3 der bekanntesten französischen Firmen teil.

Nunmehr kann man dank einer italienischen Unternehmung, die im vergangenen Sommer weitere Versuche durch die Vereinigung in Rom vornehmen ließ, die Frage der tragbaren Metallöfen für die Gewinnung der Nebenprodukte bei einem Ertrag von 22—25 % bester Holzkohle als in geradezu genialer und wirtschaftlich günstigster Weise gelöst betrachten.

Zwei Aufgaben von besonderer nationaler Bedeutung hat sich die nationale Vereinigung gestellt, denen sie sich mit besonderer Hingebung widmet: die Frage der *italienischen Lignite* und jene der *Treibmittel zum Ersatz des Benzins*, welch letztere, wenn auch bloß teilweise, mit der *Forstfrage* verbunden ist, und der wegen der außerordentlichen Bedeutung, die ihr für das Land zukommt, die größte Sorgfalt seitens der faschistischen Regierung gewidmet wird.

Wir können und wollen in diesem Berichte nicht weitschweifig werden; es genüge ein ganz flüchtiger Hinweis auf beide Betätigungsformen, zu denen jene zwei lebenswichtigen Fragen den Technikern der Vereinigung Anlaß gegeben haben.

Unter den jetzigen Marktverhältnissen können die Lignite in Italien schwerlich mit den besseren ausländischen Brennstoffen in Wettbewerb treten, sofern sie als solche in den Kesselfeuerungen und Öfen direkt

verwendet werden; immerhin haben oft entsprechend studierte Abänderungen der letzteren und in jedem Falle die Begrenzung des örtlichen Verwendungsgebietes der einzelnen, ihrer Natur und ihrer chemisch-physikalischen Merkmale nach verschiedenartigsten Lignite auf den Umkreis der betreffenden Grube gestattet, auf Grund der Arbeiten und Untersuchungen des Technischen Rates der Vereinigung, häufiger Lokalbesichtigungen seiner Ingenieure und Inspektionen der wichtigsten Gruben, die der Präsident des Technischen Rates selbst mit minutiöser Sorgfalt vornahm, sowie von detaillierten Berichten über die aufgenommenen Daten, in nicht wenigen Feuerungen die ausländischen Brennstoffe durch einheimische zu ersetzen und doch zufriedenstellende Leistungen zu erzielen.

Aber diese direkte Verbrennung ist wahrscheinlich nicht die beste und wünschenswerteste Verwertung jener geringwertigen Brennstoffe.

In dieser Hinsicht sind die nunmehr in Italien und auch im Auslande klassischen, durch Versuche belegten Arbeiten des hervorragenden Gelehrten, *Professor Mario Giacomo Levi*, des ausgezeichneten Direktors des *Instituts für angewandte Chemie* (Kgl. Polytechnikum Mailand) und der besonderen Brennstoff-Sektion zu nennen, welche die Regierung ihm in Erkenntnis der dringendsten Bedürfnisse des Landes anvertraut hat und welche der A. N. C. C., deren verdienter Berater Professor Levi ist, als Laboratorium für die schwersten Untersuchungen dient, sowie als Institut für die wichtigste Beratung in allen Fragen, bei welchen die Chemie mit der Wärmetechnik unter den verschiedensten Gesichtspunkten vereinigt ist. Wir werden kurz nur den Anteil streifen, den auf dem Gebiet der angewandten Wissenschaft die Vereinigung daran gehabt hat.

Die Tieftemperatur-Destillation wenigstens mehrerer Lignite und die Verwendung eines Teiles ihrer Halbkoks, entweder gestückt in bodenfesten oder transportablen Generatoren oder vermahlen zur Verbrennung in Feuerungen, und der Urteere, von denen einige mit vielverheißendem Erfolg für den Ersatz des Kraftfahrbenzins dem Kracken unterworfen wurden, haben der Vereinigung Gelegenheit zu Versuchen gegeben, die z. Z. noch im Gange sind und glücklichere Lösungen dieser aus mehrfachen Gründen für Italien schwerwiegenden Frage erhoffen lassen.

Die Frage der *heimischen Treibmittel* hat gleichfalls während dieser ersten drei Jahre die nationale Vereinigung beschäftigt. Sie wurde sogleich mit aller Kraft und mit unvergleichlicher Ausdauer in Angriff genommen; obwohl man von einer Erledigung derselben noch weit ist, kann man doch sagen, daß greifbare Resultate schon vorliegen.

Vor allem erinnern wir an die vom Präsidenten des Technischen Rates persönlich geleiteten Experimente, die in zwei Abschnitten im laufenden Jahre zur Durchführung gelangten, und zwar sowohl an standfesten Explosionsmotoren als auch auf der Straße an Kraftwagen verschiedenen Typs und Autobussen. Es waren Versuche, welche die Daten betreffend den Verbrauch bei Verwendung verschiedener Arten

Treibmittel einheimischer Herkunft (Schieferöl von Grotticelli in Sizilien, Benzol aus italienischen Gaswerken, Mischungen von Benzol mit dünnflüssigem Schweröl aus Ragusa), Rohölen, die aus dem Kracken der bei der Tieftemperaturdestillation (nach Guardabassi) der sardinischen Bacu-Abis-Kohle auftretenden Dämpfe, oder doch aus solchen, die in Italien aus wirtschaftlich vorteilhaft eingeführten Erdölen nach italienischen Methoden hergestellt wurden. Endlich vergleichende Versuche, um mit Genauigkeit die eventuelle Leistungsminderung bei Verwendung von Benzinersätzen festzustellen, sowie deren spezifischen Einheitsverbrauch und somit ziffernmäßig den wirtschaftlichen Vorteil aus der Verwendung der sehr wohlfeilen einheimischen Treibmittel.

Diese Untersuchungen, aus welchen die Vereinigung bedeutungsvolle Folgerungen gezogen hat, die in besonderen Arbeiten gesammelt sind, zeugen für die intensive und ergiebige Arbeit der jungen Vereinigung auf diesem Arbeitsgebiet, welches an sich nur ein Nebengebiet ihrer vielfältigen Tätigkeit darstellt.

Aber in dieser Richtung hat die Vereinigung mehr und besseres geleistet.

Sie veranstaltete *zwei Preisausschreiben* für *mittels einheimischer Brennstoffe betriebene Kraftwagen:* das eine war ausschließlich italienischen Firmen und bloß für Lastwagen vorbehalten und fand im Oktober und November 1928 in Rom statt, wo die Körperschaft ihren Hauptsitz hat, das andere hatte internationalen Charakter und war auf eine viel breitere Basis gestellt als jenes, d. h. für Kraftwagen aller Art; es fand in Mailand aus Anlaß der X. Mustermesse und der schon erwähnten *Ausstellung mit Wettbewerb für Verbrennungswesen* statt.

Beides waren imposante Kundgebungen, für welche Preise im Betrage von zusammen mehr als L 200 000 ausgeworfen, Medaillen und Diplome gestiftet worden waren; Kundgebungen, denen das Publikum ebensosehr wie die politische und die Fachpresse, die Institute und Körperschaften und vor allem die Kgl. Regierung das lebhafteste Interesse entgegenbrachten, welch letztere dem Unternehmen die weitgehendste moralische und finanzielle Unterstützung lieh.

In Rom nahmen in zwei Abschnitten, wovon ein jeder aus drei an Länge und Schwierigkeit des Straßenprofils verschiedenen Fahrversuchen mit mehr oder weniger großen Nutzlasten bestand, zehn Last-Kraftwagen am Wettbewerb teil, von denen vier sich des weiteren an einer Fahrt unter Höchstbelastung, d. h. von ebensoviel oder etwas mehr als dem toten Gewicht des Wagens, beteiligten.

Die in einer von der Vereinigung veröffentlichten Druckschrift gesammelten Ergebnisse, welche eine Anzahl Daten und Erfahrungen zusammenfassen, die auch im Ausland nicht leicht in derartigen Arbeiten aufzufinden sind und welche durch praktische Erprobung und wissenschaftliche Untersuchung einen Beitrag zur Frage der einheimischen Treibmittel erbringen sollten, haben gezeigt, daß die verschiedenen möglichen Lösungen dieser Frage schon nahezu zur Reife gediehen sind.

In Rom gelangten in Generatoren, die in Italien gebaut und zum Teil erfunden worden waren, Lignit-Halbkoks, Holzkohle in Stücken und brikettiert, sowie dünnflüssiges Schweröl aus der Destillation der asphalthaltigen Kalksteine aus dem großen Ragusaner Becken (Sizilien), zur Verwendung. Es gelang somit, dieses wertvolle und reichlich vorhandene heimische Erzeugnis zu verwerten und das Mißtrauen gegen die Verwendung von Generatoren bei schweren Kraftwagen zu mindern, wenn nicht ganz zu zerstreuen.

Man wollte diese Probleme der Nation zum Bewußtsein bringen, und die Vereinigung kann wohl sagen, hierzu durch diese Bemühungen im zweiten Jahre ihres Bestehens einen wirksamen Beitrag geleistet zu haben.

Ein Beweis dafür ist das Interesse und die ungemein zahlreiche Beteiligung an dem internationalen Wettbewerb, der im April und Mai dieses Jahres 1929 abgehalten wurde.

Von den dreißig angemeldeten, nach Typ, Bestimmung (Lastwagen, Autobus, Personenwagen) und Art des zu verbrennenden Brennstoffes (Holz, Holzkohle, dünnflüssiges Schweröl aus Ragusa, Alkohol mit Benzol, andere Treibmittel auf alkoholischer Basis, komprimiertes Methan) verschiedenen Wagen nahmen 27 am Wettbewerb teil. Auf der Strecke Mailand—Turin—Genua—Mailand gelang es, 24 von den teilnehmenden Fahrzeugen mit der zulässigen Höchstbelastung und vorher bestimmter Geschwindigkeit die nunmehr feststehende Verwendbarkeit der Generatoren und der mechanischen Vorrichtungen zur rationellen Verwendung verschiedener Brennstoffe durchwegs einheimischer Herkunft zum Ersatze des Benzins nachzuweisen.

Der äußerst sparsame Verbrauch bringt außer dem bedeutenden Vorteil für die Handelsbilanz des Landes auch einen nicht geringen wirtschaftlichen Nutzen für die einzelnen mit sich, auch wenn man die bei Verwendung geringwertiger Brennstoffe zweifellos vorhandenen Lasten in Rechnung zieht.

Die erreichten Geschwindigkeiten, das mühelose Anfahren auch an den schwierigsten Stellen von für Lastwagen kaum befahrbaren Straßen, der geringfügige Verbrauch an Benzin, das zu Hilfszwecken mitgeführt worden war, der Mangel nennenswerter Unzukömmlichkeiten im allgemeinen Betrieb der Kraftwagen, von denen einige sich auch für die öffentliche Verwendung nach feststehenden Fahrplänen für den Personen- und Warenverkehr als reif erwiesen, waren bestimmende Momente für das Urteil, daß an der praktischen Brauchbarkeit der heimischen Treibmittel für einen erheblichen Teil des Kraftfahrwesens kein Zweifel mehr bestehen kann.

Die Ergebnisse des Mailänder Wettbewerbs und alle daraus gezogenen technischen Folgerungen werden in einer Arbeit gesammelt, in welcher natürlich außer einem Hinweis auf die Ausstellung im Aeronautischen Salon bei der X. Mailänder Mustermesse, auch die interessanten Ergebnisse der anderen zwei Veranstaltungen, der Ausstellung mit Wettbewerb für Verbrennungswesen, niedergelegt werden: die schon

erwähnten *Verkohlungsversuche* im Kgl. Park zu Monza und die *verschiedenen Versuche* an Motoren, Generatoren, Elektro-Aggregaten, Motorbooten, in verschiedenen Anwendungsarten, wobei unter Zuhilfenahme besonderer technischer Vorkehrungen die bereits an Kraftwagen erprobten, festen oder sonstigen Treibmittel heimischer Provenienz verwendet wurden.

Die imposante Arbeit, an welcher 20 Ingenieure der Vereinigung unter Leitung des Präsidenten des Technischen Rates der Vereinigung teilnahmen, der bedeutende Umfang der Studien und die reichliche Menge der gesammelten Daten und Erfahrungen ergeben einen wichtigen Beitrag von unzweifelhafter praktischer Bedeutung zur Lösung dieser, für alle Staaten, die über wenig oder gar kein Benzin verfügen, überaus dringenden Frage.

Die nationale Vereinigung für Verbrennungskontrolle wird auf dem beschrittenen Wege, den sie mit Erfolg schon zum Teil zurückgelegt hat, fortfahren und bereitet jetzt, sich nicht mit dem Erreichten begnügend, aber auch nicht vor den unvermeidlichen Schwierigkeiten zurückschreckend, neue Versuche in dieser Richtung vor.

Dies ist ihre Arbeitsweise, da sie großes Vertrauen zur guten Sache hat, die sie zu vertreten berufen wurde, und der ständigen Unterstützung der Behörden sicher ist.

Die junge Vereinigung, die auf die geleistete intensive Arbeit und den in ihren ersten Lebensjahren zurückgelegten Weg mit Genugtuung zurückblickt, hat den Ehrgeiz und ist entschlossen, in ihrem Lande eine lebende und wirkende Kraft zu sein, zu Nutz und Frommen der italienischen Industrie und Wirtschaft.

Résumé

L'introduction de ce rapport donne un résumé tout bref de l'histoire des conditions prédominant au sein des associations des services de chaudières à vapeur en Italie (Associazioni Utenti Caldaie a Vapore in Italia), ainsi que de l'inspection concernant le maintien de la sûreté publique qui avait été confiée aux associations susmentionnées, tout en mettant à leur disposition des experts indépendants nommés par les préfets. L'avantage qui consiste à réunir, au sein d'une seule corporation, toutes ces diverses institutions, fut compris de suite par le Gouvernement Royal qui, en vertu de la loi No. 1331 en date du 9 Juillet 1926, a fixé l',,Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione" comme association obligatoire de tous les établissements employant des appareils à compression (que ceux-ci soient à vapeur d'eau ou à vapeurs différentes ou bien à gaz), ainsi que des appareils et installations thermiques. Cette nouvelle corporation avait à réaliser deux tâches différentes, à savoir: celle de l'inspection des appareils à compression, prescrite jusqu'à ce jour, et étendue en vue de la sûreté et de la protection des ouvriers, et l'inspection obligatoire des chaudières, fourneaux, gazogènes et moteurs thermiques, en ce qui concerne l'utilisation rationelle de combustibles, cette dernière inspection n'ayant été fixée dans aucun autre pays par la voie législative.

Il est donné, de plus, un aperçu de l'organisation de cette nouvelle corporation et des différents organes dont elle est composée, ainsi que de la nature des droits lui attribués qui avaient été réglés en vertu du décret No. 824 en date du 12 Mai

1927. D'accord avec la double tâche de l'institution, ces droits sont partagés en deux.

L'institution en question déploie ses efforts dans les deux domaines de son activité de deux manières différentes: en exécutant le règlement par le contrôle et l'inspection des appareils à vapeur et à compression en général comme ceci est fait à l'étranger, et avec des recherches et essais obligatoires spéciaux en ce qui concerne le rendement et la consommation d'appareils et d'installations thermiques; outre cette activité rigoureusement réglementaire qui, cependant, permet aussi d'exercer une influence avantageuse, d'une manière permanente et efficace, sur le rendement des installations, au moyen de petits travaux de propagande, il en résulte un autre domaine de travail intense pour compléter la dite activité réglementaire. Ce domaine comprend la sûreté du service et l'économie de celui-ci. Ces deux facteurs seront exposés en détail dans le présent rapport.

Pendant les trois premières années de l'existence de l'association, les travaux ont abouti à quelques résultats dont nous voudrions faire mention: *L'étude des matériaux de chaudières* et *les normes pour l'autorisation de chaudières*, les écoles d'ouvriers chauffeurs et le concours pour un *manuel* correspondant, *la statistique des appareils à compression;* dans le domaine scientifique: livres et brochures sur la technique de la chaleur et la publication de la revue officielle de l'association „Il Calore" („La chaleur"); dans le domaine du contrôle thermique: l'étude et l'élaboration des normes pour la réception de chaudières à vapeur, essais sur des méthodes spéciales de combustion dans des fourneaux spéciaux pour les différentes industries; recherches et essais sur des lignites italiens qui furent réalisés directement dans des appareils de chauffage ordinaires ou mieux dans des appareils de chauffage spéciaux ou dans des fourneaux à chauffage au poussier; essais sur la carbonisation rationelle du bois et des résidus ligneux existant à Follonica, Cecina, Naples, Monza et Rome qui, jusqu'à présent, ne furent pas utilisés; les mises au concours de Rome et Naples pour autos utilisant des moyens d'impulsion autres que l'essence, en employant soit des gazogènes, soit des dispositifs autres que ceux-ci créés particulièrement à cet effet.

Canada

Fuel Investigations and Research in Canada

Canadian Management Committee

B. F. Haanel

Introduction

Organized effort to conduct fuel investigations and research in Canada began to assume definite form in 1908, when a comprehensive investigation of the coal of Canada was undertaken by the then newly created Department of Mines, in co-operation with Dr. *Porter* and others of *McGill* University[1]. Concurrently, the Mines Branch of that department established as a part of its organization a Fuels and Fuel Testing Division, which began to conduct special investigations such as boiler and producer gas tests, as well as chemical and physical examinations of fuels. For some years this was the only permanent organization in Canada which conducted fuel investigations and research[2].

In 1916 a special investigation was undertaken, under the auspices of a special committee representing the joint interests of the Federal Government and the government of the province of Ontario, which had as its objective the development of an economic process for converting raw peat—of which the resources of Canada are very great—into a marketable fuel[3]; and in 1918, a board known as the Lignite Utilization Board, the membership of which was representative of the Federal Government and the governments of the provinces of Manitoba and Saskatchewan, was appointed for the purpose of developing a commercial process for converting Saskatchewan lignites, by low temperature carbonization and briquetting, into a fuel which it was hoped could compete on the open market with imported and other domestic fuels[4]. These two investigations were carried on more or less continuously for a period of about five years. In 1922 the Dominion Fuel Board[5] was created, which had as its objective the study of the fuel problems in Canada from a purely economic point of view. However, this board was responsible for various investigations, the chief one of

[1] Results of this investigation are embodied in 7 volumes, entitled "Investigation of the Coals of Canada"—published in 1912.

[2] Results of these investigations are contained in the annual Summary Reports of the Mines Branch and in separate pamphlets.

[3] Results of the investigations conducted by this committee are contained in "The Final Report of the Peat Committee", published by the Mines Branch in 1926.

[4] The results of [illegible] embodied in the "First General Report of the Lignite Utilization Board"

[5] Results of the [illegible] Board are contained in the "Interim Report of the Dominion Fuel Board", 1923, and the "Second Progress Report" 1923—1928.

which related to the utilization of coke as a household fuel to replace American anthracite, which was at that time the principal and practically sole fuel used for domestic purposes. While this was largely an economic problem, a considerable amount of investigational work was conducted on various Canadian coals, in order to determine their value for the manufacture of a domestic coke. When the Scientific and Industrial Research Council of Alberta was created in January, 1924, a research organization was set up in the University of Alberta, to carry on fuel research and other investigations, with particular reference to the province of Alberta; and the Nova Scotia Technical College at Halifax, which is supported by the government of the province of Nova Scotia, has been engaged in later years on special fuel problems bearing on the mining and utilization of Nova Scotia coals. These constitute the principal organizations for carrying out fuel investigations and research, in Canada.

On account of the sparsity with which certain sections of the Dominion of Canada are populated, and the great distances separating the coal areas from industrial and more thickly populated centers, the various fuels required for industrial, commercial and domestic uses, are derived very largely from foreign sources—principally the United States. The imported fuels comprise: anthracite and coke for domestic purposes; bituminous coal for railway and industrial purposes; and crude oils for refining into motor spirits, lubricating oils and other products. When practically all classes of fuel could be obtained in great abundance, and at reasonably low cost, the peoples of the Dominion of Canada were not concerned with fuel problems or fuel research. It was only when a fuel shortage threatened, and actually became a fact, that sufficient interest was aroused to create the necessary degree of enthusiasm for such investigations and research as would stimulate the use of native fuels. However, as stated above, owing to the location of the fuel resources—solid, liquid and gaseous—solution of the problems for investigation and research is influenced largely by economic considerations, such as freight rates, cost of mining, etc. Canada is not so favourably situated as some of the highly industrialized countries possessing large fuel resources, in regard to chemical and other industries which are dependent on solid fuels and their products, and on gaseous fuels, both natural and manufactured, consequently, a process or method for treating solid or other fuels, which might prove entirely commercial and profitable in European countries, for example, or in the United States, might prove to be entirely uneconomic when employed under conditions obtaining in Canada.

Outline of Investigations Conducted in Fuel Research Laboratories

The Fuel Research Laboratories of the Department of Mines are especially concerned with investigations which it appears would have an immediate commercial application, and while what is termed pure or academic research, is conducted, and on an increasing scale, an attempt is made to only carry on such research as will have a bearing

on pressing economic problems. The principal investigations which have been conducted during the past few years pertain to:

1. Chemical and physical survey of coal seams in situ.
2. Investigation of problems concerning preparation of coals for markets.
3. Testing of coals, on both small and large scales, with a view to improving the efficiency with which they can be utilized for various purposes, and to ascertain how their field of application can be extended.

The results of such investigative work afford a basis for the preparation of a 'use classification' of Canadian fuels. The large scale tests involved in theses investigations include coal cleaning experiments and testing, according to various methods in use commercially, before and after cleaning, for 1. Pulverized fuel burning, 2. High temperature carbonization, 3. Low temperature carbonization, 4. Domestic use, 5. Briquetting and 6. Determination of the value of gas and oils recovered in the course of carbonization, for the generation of power in internal combustion engines of different types, and for other purposes.

One of the functions of the Fuel Research Laboratories is to obtain as complete information as possible regarding commercial processes for the treatment of solid and other fuels, which are in the laboratory or semi-commercial stages of development, and also processes which are in successful commercial operation. These laboratories are also available for carrying out research on special problems with which coal operators and large consumers of coal are confronted. Such investigations and research will be conducted in co-operation with the parties specially interested.

At present the Fuel Research Laboratories are engaged in making a survey of the coking bituminous coals of Canada, and studying methods for improving the quality of coke by blending with other coals or by altering the methods employed for heat treatment, and in other ways improving the physical properties of the coke and raw coal. In this connection special mention may be made of full size by-product oven coking tests made in 1924 on coals from the Maritime Provinces, and of special coking tests on bituminous coals from Western Canada made in commercial by-product ovens at Winnipeg, the results of which showed that there is to be found in abundance in Canada coals quite suitable for the production of metallurgical and domestic coke[6].

While low temperature carbonization was not looked upon by members of the staff of the Fuel Research Laboratories with much favour in past years, recent tests carried out on Nova Scotia coal, according to a well known low temperature carbonization process, have shown that a rather extensive field exists in certain portions of Canada for the introduction of some such process, inasmuch as a bituminous coal which is more or less unsuitable for the manufacture of a high temperature coke, when the objective is a domestic fuel, is an excellent fuel when

[6] See Investigations of Fuels and Fuel Testing, 1924 and 1927.

submitted to the right low temperature treatment. While the laboratories are interested and are engaged on research work which has as its objective the conversion of solid fuels into liquid fuels, and the conversion of gases — both natural and manufactured — into fuels and other compounds, it must be borne in mind that the introduction of a process, even though technically feasible, would have a small chance of meeting with economic success at the present time when crude oil and its products can be obtained in great abundance, and at comparatively low cost. This state of affairs, of course, may change at any time, and in a few years a process which is now uneconomical may then be entirely economical and feasible.

Economic Utilization

So far as the Fuel Research Laboratories of the Department of Mines are concerned, its objective is not to conserve natural fuel resources—when conservation is used in the term 'to save'—but first of all to show how wastefulness in their utilization can be decreased or eliminated, and more especially to indicate means and ways for their more extensive development and use along economic lines. Conservation, of course, does not imply that a natural resource should be kept intact for some future generation, but that natural resources should be conserved for the best and most useful purpose, by utilizing them in such a manner that the products obtained from them can serve the largest number of purposes; and that only that portion of a fuel which is not suitable or cannot be used for more valuable purposes, be used for the generation of heat for steam raising, or for other purposes where heat is required. But the natural resources of any country will not be developed unless their development and utilization prove profitable, and the utilization of certain of the fuel deposits in Canada at the present time may not prove profitable if the fuel is used only for the generation of heat, consequently, fuel research must be conducted in order to ascertain whether other uses exist or can be found for such fuels: for example, oil is being used extensively on the British Columbia coast and by the railways traversing the Rocky Mountains, in place of coal. The displacement of coal by oil has, therefore, placed a heavy burden on the coal operators who formerly supplied the coal for such purposes. The Fuel Research Laboratories are at present engaged in the conducting of large scale tests, accompanied by other investigations, on representative commercial samples of coal from the various collieries in British Columbia for the purpose of ascertaining their value as fuel for use in steam raising when burned in the pulverized form, and how the standard equipment available should be changed in order to adapt it to such use. The successful substitution of oil by powdered coal, both in stationary plants, where fuel oil is now burned, and perhaps on the railways and ocean-going steamships which are at present burning oil, would not only be of great assistance to colliery operators in Western Canada, but would also reduce very appreciably importations of fuels in the liquid form from foreign sources—a phase, of course, which everyone must view as temporary.

Work of Other Fuel Research Organizations in Canada

As previously stated, fuel research is conducted by other organizations in Canada, e. g. the research staff of the Scientific and Industrial Research Council of Alberta[7]. This organization is conducting detailed laboratory work on the coals of Alberta, with a view to their scientific classification and suitability for various uses. During recent years the fuel investigations in Alberta have included a study of the general characteristics of the different coals as mined; special screening, weathering and storage tests; a study of the amenability to briquetting in the raw state; special laboratory carbonization and coking experiments; and tests in different types of domestic heating systems.

Valuable work has also been conducted on the tar sand deposits of Alberta with a view to developing a process for the economic separation of the bitumen content from the sand. Such a process would prove of great value and would make possible in the near future development of these immense deposits on a large scale. The raw bitumen thus separated has been and is being investigated by the Fuel Research Laboratories at Ottawa, especially in the direction of its utilization as a source of motor spirits, fuel oils, and other petroleum products, by high pressure and temperature cracking, with and without hydrogenation. In passing, it might be mentioned that the results of this work have confirmed that by the employment of high pressure and temperature cracking a large yield of motor spirits can be obtained from the bitumen content, and that the tar deposits as a whole would prove an almost inexhaustible source of motor spirits and other oil products, so far as Canada is concerned. A large amount of research has also been carried on by the Mines Branch, Department of Mines—as well as by the Industrial Research Council of Alberta—in connection with the utilization of both the raw tar sands and the bitumen content by itself, first, in the building of roads, and secondly, as a road oil. This work is still progressing.

A separate organization known as the "Turner Valley Gas Committee" was recently appointed to investigate means and ways of conserving the enormous quantity of natural gas which at present is surplus gas in the Turner Valley oil field, situated 40 miles south of Calgary, Alberta. The objective of the investigation being carried on by this committee is to determine the feasibility of piping long distances to industrial centres, and whether or not any of the processes for utilizing natural gas for the manufacture of motor spirits, chemicals, lampblack, or other substances, are economically feasible.

Investigative work is being carried out at the Nova Scotia Technical College on Nova Scotia coal[8], to determine the most efficient grate setting for burning the various kinds of Nova Scotia coal under boilers for steam raising. The main objective of the tests involved is to indicate how existing small boiler installations can be easily and inexpensively

[7] Investigations conducted by this organization are embodied in reports entitled "Annual Report of the Scientific and Industrial Research Council of Alberta".

[8] The reports of the Nova Scotia Technical College are contained in the Annual Report of the Nova Scotia Department of Mines.

altered to burn Nova Scotia coal more efficiently. Tests are also being carried out in a domestic hot water heater to ascertain how bituminous coals, coke, etc. should be burned in order to eliminate smoke, and to determine the efficiencies with which such coals can be burned. The weathering properties of slack coal when banked for winter storage and tests on commercial powdered fuel boiler plants have been and are being carried out.

Special work has been conducted at the Nova Scotia Technical College on the oil shales of Nova Scotia. This work is complementary to that conducted by the Federal Department of Mines on oil shales from other parts of the Dominion but mainly on the oil shales of the province of New Brunswick. The Federal Department developed a suitable laboratory retorting method and examined a large number of representative samples of oil shales. This work included a special study of the nature of the shale oil with a view to ascertaining its suitability for refining by high pressure cracking.

At present, the attention of the Department is directed to the examination of the oil shale resources of the Dominion with a view to their economic exploitation. In conjunction with this work research is being conducted on the conversion of solid fuels into liquid fuels and the manufacture of synthetic liquid fuels from gases—both natural and manufactured. Investigations related to the manufacture of motor spirits and other liquid fuels, according to pressure temperature cracking and other oil refining processes, will be extended. Oils resulting from the distillation of solid fuels at low temperatures, and the bitumen obtained from the tar sands of Alberta, will in the near future be subjected to detailed investigation and research.

Laboratory Facilities at Ottawa

The facilities of the Fuel Research Laboratories provide:

a. Fully equipped chemical laboratories for routine analyses of all kinds of fuels—solid, liquid, and gaseous.
b. Carbonization and research laboratory for research and plant control.
c. Research laboratories for research on oils and gases—both natural and manufactured.
d. Domestic furnace testing installation.
e. Commercial size pulverized fuel boiler installation.
f. Coal washing equipment, composed of wet and dry coal cleaning plants.
g. Commercial scale by-product recovery coke oven with all accessories.
h. Full size commercial scale briquetting installation.
i. Gas producers.
j. Internal combustion engines for testing the value of various oils obtained through the process of heat treating coal, oil shales, etc., for the production of power.

A large space is also provided for the erection of low temperature carbonization and other retorts for treating solid fuels and oil shales.

The Fuel Research Laboratories at Ottawa provide facilities for conducting investigations and research on, first, a small laboratory scale; second, a large laboratory scale; and third, a technical or semi-commercial scale. As an illustration, the investigational program of the carbonization of solid fuels at high and low temperatures may be given. First, the coal in the seam is studied, and fundamental testing and research is conducted on a small scale on a large number of samples. This involves research on methods for examing the coal for its carbonization amenabilities and its classification as to coking properties, etc. For this investigation special tests on 20 g samples are employed, according to high and low temperature carbonization practice. Then, on a select number of coals, tests are conducted on scales from 5 to 100 pounds, to indicate commercial yields of products, with special reference to the tar oils. This scale includes large scale laboratory tests, to secure sufficient tar oils for studying their refining properties, and also box coking tests for quality of coke to be expected in commercial practice. The results obtained in the small and large scale laboratory tests are subsequently checked, using a further selected number of coals on a technical or semi-commercial scale, either in semi-commercial high and low temperature carbonization installations at Ottawa or in commercial plants.

Supplementing the investigations on the different scales as outlined above, a limited amount of fundamental research of an academic nature is conducted on the raw fuels and the products therefrom, in co-operation with different Canadian universities. This is accomplished by certain members of a university staff interested in fuel research who spend their summer (vacation) time on special problems at the Fuel Research Laboratories, and on their return to their duties at the university, assign to undergraduates and graduate students, special small problems in fuel research, for thesis purposes.

The problems met with in Canada are in many respects dissimilar to those which are common to other countries. As stated previously, these laboratories are concerned chiefly with industrial research which has as the main objective the testing and investigation of processes developed on a technical, and those which have been successfully applied on a commercial scale in other countries, which it would appear could be applied to advantage in Canada. Pure research of an academic nature, while of immense value both to the present and future generations, requires more extensive and elaborate facilities and a much larger staff of specially trained men than contemplated by the Fuel Research Laboratories, and is not particularly the class of research which can be profitably carried out by a staff of engineers—chemical, mechanical, and mining, whose main objective is the application of science and engineering to industries in general; and while considerable pure research is being conducted in these laboratories, the staff depends very largely for its guidance on the academic research work on fuels conducted in the laboratories of other countries.

Zusammenfassung

Brennstofforschungen und -untersuchungen werden seit dem Jahre 1908 durch das Federal Department of Mines sehr gefördert, da diese Forschungslaboratorien mit chemischen Apparaten, Retorten in kleinen und normalen Abmessungen, Verbrennungskraftmaschinen, einem Koksofen in natürlicher Größe, Kohlenaufbereitungs- und Brikettierungsanlagen sowie einem mit Staubkohlenfeuerung versehenen Dampfkessel ausgestattet sind, sodaß eingehende Versuche mit kanadischer Kohle ausgeführt werden können. Der Zweck der in diesen Laboratorien ausgeführten Arbeiten ist, die kanadischen Brennstoffquellen zu fördern und ihnen zu einem vermehrten Verbrauch zu verhelfen. Wissenschaftliche Arbeiten werden nur in begrenztem Maße ausgeführt, und zwar besonders mit Beziehung auf die Kohlenverflüssigung, die Umwandlung von natürlichen und künstlichen Gasen in flüssige Brennstoffe und das Verarbeiten des Alberta-Ölschiefers auf Benzin, Öle usw.

An einer auf geschäftlicher Grundlage von dem Department of Mines während zweier für den Abbau günstiger Jahreszeiten betriebenen Anlage zur Herstellung von Brennstoff aus Torf wurden eingehende Versuche ausgeführt, und es wurde nachgewiesen, daß Torf als Kraftquelle wirtschaftlich verwendet werden kann, und zwar sowohl im Gaserzeuger als auch in der Gasmaschine und bei günstigen Verhältnissen auch im Dampfkessel und in der Dampfmaschine. Es wurde viel getan, um den Nachweis zu erbringen, daß in den westlichen Kohlenfeldern zahlreiche Kohlen gefunden werden, welche den amerikanischen Kohlen gleichwertig sind, die zur Koks- und Gasherstellung eingeführt werden und die ebenso befriedigend durch einheimische Kohlen ersetzt werden können. Kürzlich wurden viele Arbeiten über Tieftemperaturverkokung von Nova-Scotia-Kohlen mit der Absicht ausgeführt, darzutun, daß auf diese Weise ein vollkommen genügender Brennstoff für Hausbrand hergestellt werden kann.

Der wissenschaftliche Beirat für wissenschaftliche und industrielle Forschungsarbeiten der Provinz Alberta und die technische Hochschule der Provinz Nova Scotia führen Forschungen und Untersuchungen aus, die in gewisser Beziehung zu den Brennstoffen der betreffenden Provinzen stehen. Der Forschungsausschuß von Alberta richtet, soweit Brennstoffe in Betracht kommen, seine besondere Aufmerksamkeit auf Verfahren, den Teersand von Alberta zu Straßenherstellungs- und anderen Zwecken nutzbar zu machen, und auf die wissenschaftliche Einteilung von Albertakohlen sowie auf die Prüfung dieser Kohlen für verschiedene Zwecke. Die technische Hochschule in Nova Scotia führt außer rein wissenschaftlichen Forschungsarbeiten in großem Maßstab Versuche mit Nova-Scotia-Kohlen aus zu dem Zwecke, auszuprobieren, wie diese Kohlen mit guter Nutzwirkung in bereits vorhandenen kleinen Dampfkraftanlagen und für Hausbrand in den gebräuchlichen in ganz Nova Scotia verwendeten Öfen verwendet werden können. Weiterhin wurde der Untersuchung von Ölschiefer und ihrer Verarbeitung auf Öle usw. viel Zeit gewidmet.

Nr. 79

Great Britain

The Properties of Steam at High Pressure and Temperature

British National Committee

G. S. Callendar

During the last few years, the interest shown in the properties of steam at high pressures has increased considerably. There are, of course, a number of reasons why those who supply and use power in every country of the world should be interested in the possibilities of very high pressure steam. Perhaps the chief amongst these is the natural desire of those responsible for the design of new power supply plants to make the new plant more efficient than any at present in operation; and thereby enable them to supply the insistent demand for cheaper power, on which the modern industrial community is founded.

Another reason for this added interest is undoubtedly the inroads made by the internal combustion engine into fields previously regarded as suitable only for steam power. In almost every case where the internal combustion engine has been adopted the reason for its adoption has been that its higher thermal efficiency has outweighed the disadvantages of greater capital cost and increased complications.

As soon as engineers decided that greater thermal efficiency must be obtained and that by commencing with steam at a higher pressure and superheat than had ever been used before they might obtain their end, investigations into the possibility of using these high pressures were set on foot. It was at once found that above those pressures which were already in use very little was known about the properties of steam. Just after the late war the only information available, about these properties at higher pressures, was made up of values which had been obtained, either by graphic extrapolation from low pressure, or else by the use of formulae which though they represented the properties of steam quite accurately at moderate pressures, could not be relied on, even at the limits of pressure then in use, still less could they be extrapolated to the very high pressures which it was proposed to use.

Long before that time it was fully realised that steam did not follow the laws of a perfect gas, and that the simple formulae proposed by *Joule* and *Thompson* and afterwards elaborated by Professor *Callendar*, could not represent the properties of steam at high pressures without

considerable modification. Numerous attempts were made to represent the values, as far as these were known, by the use of empirical formulae, based on the known properties of steam at low pressures, and on the saturation pressure and temperature, which was known up to very high values with moderate accuracy. But none of these could be relied upon to give accurate values beyond the experimental range.

As soon as an attempt was made to estimate the increase of efficiency, resulting from a large increase of pressure, it was found that widely different results were obtained, depending upon which of the available formulae were used, for ascertaining the heat drop from the high pressure.

The authors of steam tables then published were usually content to give values up to about 500 or 600 lbs. as even at these pressures the values were admittedly uncertain.

As a result of this uncertainty a movement was started in several countries to find by direct measurement the actual values of the various properties of steam up to the highest pressures and temperatures which could be used in practice.

Direct Measurement up to 4000 lbs.

In Great Britain at about this time, Professor *Callendar,* who was known to be interested in the thermodynamic properties of steam, and whose steam tables had already been widely accepted as standard, was approached by the British Electrical and Allied Manufacturers Association and asked if he would undertake an investigation on the properties of steam at high Pressures and temperatures.

This offer was accepted, and for several years until his death early this year, Professor *Callendar* had been investigating the properties of steam by direct experiment up to 4000 lbs. The author assisted his father in the whole of this investigation, and can appreciate the great value of the latter's vast experience in temperature measurements in such experiments. At the time of his death, the apparatus which he used for these observations seemed at last to have reached a state bordering on finality. It is unfortunate that Professor *Callendar* should not have lived to complete an investigation in which he was so deeply interested, and for the completion of which he had planned so thoroughly and carefully.

With the assistance and advice of the British Electrical and Allied Manufacturers Association, the author is continuing this research, and hoping to bring it to a successful conclusion; this involves close agreement with the values obtained by other observers, working in different countries, and generally with different types of apparatus.

The methods of experiment finally adopted by Professor *Callendar* were the result of very long experience in calorimetry, and were also founded on the results of a great many trials of the various forms of apparatus, which were known to be suitable for measuring the properties of steam at all the required pressures and temperatures. The basis of his method is to measure the heat content, and the specific

heat of the steam, under conditions of steady flow. This was considered to be preferable to the use of any static methods, for it is well known that as pressure and temperature increase, the difficulties of using a static method of measurement are greatly augmented, whereas if the steady flow method is used, a large increase of pressure does not add very much to the uncertainties of the result. It has actually required years to build up the apparatus found to be necessary to obtain results which carry the required degree of accuracy. This apparatus has now become far too complicated to be described in detail in this paper. Only a brief description of the three principal methods adopted will be given.

Callendar's Method of Experiment

To measure the specific heat at atmospheric pressure over a wide range of temperature, a differential electric calorimeter was used, having a central thermometer pocket and two side pockets, each containing an electric heater. A steady flow of steam at constant temperature was passed into the central pocket, where its temperature was measured, it was then divided into the two side pockets, and passed over the electric heaters, after which its temperature was again measured, and after it had been condensed the amount was weighed. As in all the experiments the temperatures were measured with platinum resistance thermometers, reading to one hundredth of a degree centigrade.

It was necessary to use two exactly similar side pockets and heaters in order to obtain the heat loss by the well known differential method. The whole calorimeter was completely jacketed with a supply of steam at the initial temperature, and in order to minimise the heat loss, it was also surrounded with a special asbestos lagging.

The pressure drop through this calorimeter was extremely small, and very consistent values of the variation of the specific heat with temperature were obtained with it. These values were found to be in close agreement with those of previous observers, who had used different methods. It has not been found practicable to extend this method of directly measuring the specific heat up to high pressures, on account of the great difficulty of designing an apparatus of this type, which will stand a high pressure.

The Total Heat

The specific heat can be most readily obtained at high pressures, by direct observations on the total heat. These values of the total heat have been obtained by two distinct methods. Firstly that of the throttling calorimeter, in which the temperature and pressure of the steam at any desired point are first observed in the usual thermometer pocket, and the steam is then throttled directly to atmospheric pressure, and the temperature again observed. As the total heat is known at atmospheric pressure with considerable accuracy, the required total heat at the high pressure is exactly equal to that observed in the low

pressure pocket plus the heat loss incurred in passing from one thermometer to the other. It is essential in using this method, to be certain that the steam is dry and super-heated in both high and low pressure pockets, and also that the kinetic energy developed at the throttle has been dissipated before the low pressure thermometer is reached. This method is unsuitable for obtaining the total heat at very high pressure, unless the initial steam is considerably superheated. It was soon found that the heavy condensation, combined with high velocity at the throttle, completely upset observations at high pressures near saturation. Apparently the drops formed at the throttle, were carried by the high velocity right up to the low pressure thermometer, where they were again evaporated, thus causing too low a temperature reading. This effect is easily seen when using the differential throttling calorimeter, because the low pressure pocket carrying the larger flow of steam shows a lower temperature than the corresponding pocket, which carries half the flow, thus indicating a negative heat loss, a result which is impossible to explain in any way except that the velocity on the small flow side, subsequent to the throttle, is insufficient to carry the drop of water as far as the thermometer. This effect was noticeable up to a considerable superheat, at very high initial pressures in spite of the use of a number of precautions such as numerous layers of fine wire gauze etc. between the throttle and the low pressure thermometer. An improvement was obtained by the use of a number of throttles in series, each one having twice the area of the preceding one. But even with this precaution it is impossible to approach the saturation temperature at all closely, at very high pressures by this means, on account of the increasing defect of the total heat in this region, for example at a pressure of 3000 lbs./sq. in. some 30 degrees of superheat would be required to bring the total heat up to the value for dry steam at atmospheric pressure.

Condenser Method

This difficulty led to the use of the third, and probably the most reliable method of observing the total heat. This method was simply to pass the steam directly through a throttle into an atmospheric condenser, and measure the amount of heat given up; thereby eliminating any difficulties due to kenitic energy, or to condensation at the throttle.

A continuous flow calorimeter which would record the total heat directly and give results of the required order of accuracy was, of course, much more difficult both to design and to use than the simple throttling calorimeter. In this case the use of an accurate resistance thermometer for measuring the various temperatures was quite essential. Many reliable and consistent observations on the total heat of both water and steam up to 4000 lbs. have been taken by the condensor method, and it is proposed to extend these observations up to higher superheats, so as to cover any range of pressure and temperature which could be used in practice.

The Boiler and Pressure Gauge Used

It is obvious that when taking experiments over such a wide range of pressures, special methods will be necessary both for raising the steam and for measuring its pressure. In this case the steam is obtained from a special boiler, consisting of tubes of monel metal, heated by passing an electric current through them; the pressure was observed directly by means of a weighted piston floating on oil. This dead weight pressure gauge has been accurately calibrated against a mercury column.

The Critical Region

In making experiments on the properties of steam with the apparatus which has just been described, special attention has been directed to that region known as the critical temperature for water, in other words that temperature above which water passes directly into vapour without any change in density or total heat.

The properties of steam in this region may be said to be of no direct practical importance as the total heat is too low to be utilised in any efficient form of power generator.

The critical region has, however, great theoretical importance and scientific interest, because it is upon the behaviour of the liquid and vapour in this region that most theories of the change of state from liquid to vapour are based, and the value of the theory depends upon its agreement with the properties of steam in this region.

For many years it has been supposed that if a liquid was heated in a containing vessel up to a certain temperature, at which the visible surface of separation between the liquid and its vapour disappeared, this represented the temperature at which the densities of liquid and vapour became equal. It was also supposed that at this temperature and pressure, the latent heat of evaporation of the liquid vanished. Several ingenious theories to account for the behaviour of liquids and vapours at various pressures and temperatures have been founded on the supposition that the curves representing the densities of the liquid and vapour at saturation temperature, on the density-pressure diagram, met at the vertex of a parabola, at the critical point, and became tangential to the isothermal at that temperature, thus indicating that the specific heat of the liquid had become infinite at this point.

Theory of Continuity of State

The theory based upon those facts was called the theory of "Continuity of State". This theory assumes that liquid and vapour are merely widely separated forms of the same condition of matter, and differ only in density. It has held the field for many years and has been discussed in numerous scientific papers. The equations of *Van de Waals* are a wellknown example of this theory, and have been used extensively to illustrate the properties of liquid and vapours. As a result of his researches into the critical region of water, both by the

direct measurement of the total heat with the apparatus which has been described, and by observing the behaviour of liquids when heated up to the critical point in sealed tubes, Professor *Callendar* found that the point at which the visible surface of separation between the liquid and the vapours disappeared did not represent the true critical point, and that the densities of the liquid and vapour did not become equal until a higher temperature was reached. This conclusion was completely verified by direct measurements upon the total heat in this region, which showed that the liquid still possessed a considerable latent heat at temperatures even higher than that at which the latent heat had been supposed to vanish. Dr. *Havelick* (of Mor.-Ostrava) has independently confirmed this result in his measurements of the total heat of steam at very high pressure. This led Professor *Callendar* to adopt what is known as the Coaggregation Theory, which was proposed as far back as 1900.

The Coaggregation Theory

The "Coaggreation Theory" is the exact opposite of the theory of "Continuity of State" in most respects. It supposes that the molecules of liquid and vapour are not all identical, and the difference between these states is primarily one of coaggregation, or molecular complexity.

This difference of molecular constitution requires different equations, for liquid and vapour respectively, and Professor *Callendar* was able to use an equation, similar to that proposed by *Joule* and *Thomson*, to represent the properties of the vapour. This equation, which is founded upon the two laws of thermodynamics, was originally proposed about 30 years ago, and gives the following expression for the total heat of the vapour, in terms of the pressure and volume:

$$H = K_1 + K_2 P\,(V - b) + K_3 P, \qquad (1)$$

where K_1, K_2, K_3 and b are constants. It has the great advantage over one of the *Van der Waals* type, in that it gives the volume of the vapour directly in terms of the observed conditions of temperature and pressure.

As a result of a great number of experiments, it has been found possible to extend this simple equation to represent the properties of the vapour up to high temperatures and pressures.

The original thermodynamic equation (1), giving the total heat in terms of the pressure and temperature only was:

$$H = K_1 + ST - K_2\,(f_1 t)\,P - K_3 P, \qquad (2)$$

where S = the specific heat at zero pressure, and $(f_1 t)$ is a function of the temperature.

In order to represent the higher degrees of coaggregation which occur with increasing pressure, it was found necessary to modify this equation by the addition of an extra term as follows:

$$H = K_1 + ST - K_2\,(f_1 t)\,P/(1 - K_4^2\,(f_2 t)^2 P^2) - K_3 P. \qquad (3)$$

In an investigation concerning the properties of a substance over a wide range of pressure and temperature, it is of the utmost importance that a thermodynamically consistent relation should be found between the various properties of the substance, in order that the individual results of the experiments may be compared with a consistent series of values, obtained from their thermodynamic relations. In the present investigation on the properties of steam, up to the highest pressures, the above comparatively simple relation (3), has been found to be of the greatest value, and is always used as a base with which to compare the results of individual experiments.

The values obtained with this formula (3), have been published in the form of tables known as the "Callendar Extended Steam Tables". These embody the results of many experiments at high pressures and temperatures, over the greater part of the range covered by the tables. It is felt that the alterations finally necessary to secure agreement with the best international observations, will be of details only, and will certainly not involve changes in the fundamental formula.

Properties of the Liquid

The properties of the liquid at high temperatures and pressures are of considerable importance, when investigating the properties of steam in this region, and numerous experiments have been made to determine them. It has been found that the original equation giving the total heat of the liquid at saturation in terms of the temperature and volume holds with remarkable accuracy, up to the highest temperatures. This equation is as follows:

$$h = st + vL/(V - v) , \tag{4}$$

where s = minimum specific heat of water, L = latent heat of evaporation, and V and v saturation volumes of vapour and liquid respectively.

In a paper having such a general title as this, it is obviously impossible to go into the thermodynamic considerations, which lead to the adoption of the formulae which have been quoted. It is sufficient to say that they have withstood the test of years, and now form one of the most reliable standards with which to compare the results of various observations.

Values at Saturation Temperature

It is now generally admitted that observers have, in the past, directed their experiments too frequently towards the properties of steam at saturation temperature. It is wellknown that all experiments, except those on the pressure alone, are much more liable to contain errors, when the steam concerned is at or very near its saturation temperature. This is due to the fact that dry steam cannot in practice be obtained at saturation temperature. The steam always appears to carry some minute drops of water with it, even if it be superheated a few degrees. In our experiments on the total heat it was found possible to approach the saturation temperature within 3°C at high pressure, provided the

steam was first slowly cooled to this temperature, from a superheat of about 15 °C.

The exact values of the properties of steam at saturation, are rendered very much more difficult to observe directly because the presence of even small quantities of impurities, such as air or particles carried by the steam, have a relatively large effect on the properties along the saturation line. The effect of impurities has been found to be greatest in the critical region, and this is especially so for air carried by the steam. In our experiments, special apparatus has been added to obtain a continuous supply of pure distilled water, from which the whole of the air can be removed, if required.

To obtain consistent observations in the critical region itself it has been found preferable to use only steam raised from air-free water, the presence of what would be a normal quantity of air in the steam, has the effect of lowering the saturation pressure for a given temperature by an appreciable amount, which is especially noticeable at the highest pressures. Tests are being carried out at present to determine how far the effect of a known quantity of air on the saturation temperature can be traced towards lower pressures.

It is expected that the method of observing the pressure directly, previously referred to, will be very useful in this investigation, because it is possible, with the scale employed, to observe the pressure to an accuracy of 1 in 4000, if required. In the light of previous experiments, in which the pressure was measured by means of an ordinary spring gauge, calibrated from time to time on the dead weight gauge, it would seem that the lowering of the saturation pressure by a small quantity of air in the water becomes rapidly less as the pressure is reduced.

International Agreement

During last summer, invitations were sent by the British Electrical and Allied Industries Research Association to all those who were known to be engaged upon accurate and fundamental researches into the properties of steam, asking them if they would be able to attend a conference of those interested, which was to be held in London. The result of this invitation was that nearly all those who were or had been engaged upon experiments dealing with the properties of steam, both in Europe and America, were gathered together in London and enabled to exchange their experiences with different methods of investigation, and to compare the values obtained by these methods.

A skeleton table of values was agreed upon at the conference, to represent the best results of different observers, and allowing a certain margin where no absolute agreement was at present obtainable.

This table is of great use to observers in different countries, as it enables them to see at once whether their apparatus gives values lying within the tolerances which have been internationally agreed upon.

It is proposed that another meeting of those engaged upon steam research should be held this summer, and it is hoped that still closer agreement will be obtained, as the result of the more accurate methods

of experiment which have been used in various countries during the past year.

Since the last Conference, new apparatus for measuring the properties of steam, up to the highest pressures and temperatures, has been brought into operation both in Germany and America, and it will be a matter of great interest to compare the results from this new apparatus with those already obtained by existing methods.

Appendix

Values of constants in formulae used in the text.

Total heat of vapour $= H = K_1 + K_2 P(V - b) + K_3 P$ (1)

$$H = K_1 + S_0 T - K_2 (f_1 t) P - K_3 P \qquad (2)$$

$$H = K_1 + S T - K_2 (f_1 t) P / [1 - K_4^2 (f_2 t)^2 P^2] - K_3 P \qquad (3)$$

Total heat of liquid $= h = st + vL / (V - v)$ (4)

T, deg, Centigrade — $P = \mathrm{kg/cm^2}$. $V = \mathrm{m^3/kg}$.

Constants, $K_1 = 464$. $K_2 = 101$. $K_3 = 0.00408$. $K_4 = 505$.
$b = -0{,}0001747$.

$S = 0{,}4772$. $s = 0{,}99666$. $L =$ Latent heat.

$(V - b) = RT/23{,}3\,P - (f_1 t) / [1 - K_4^2 (f_2 t)^2 P^2]$.

$v = V(h - st) / (H - st)$.

$R = 0{,}11012 =$ gas constant.

$(f_1 t) = 0{,}02625 / (T/373{,}1)^{10/3}$. $(f_2 t) = (f_1 t) / T$.

Zusammenfassung

Das wachsende Interesse, das man in den letzten Jahren den Eigenschaften des Hochdruckdampfes entgegenbringt, entspricht dem allgemeinen Verlangen, die Wirtschaftlichkeit der Dampfkraftanlagen zu steigern. Dies ist eine Folge des Wettbewerbs der Explosionsmotoren.

Bis vor kurzem wußte man so gut wie nichts von den Eigenschaften des Wasserdampfes bei Drucken jenseits der schon benutzten. Während der letzten Jahre sind in mehreren Ländern Forschungsarbeiten im Gange über die Eigenschaften des Dampfes bei viel größeren als den bisher benutzten Drucken.

In England hat der kürzlich verstorbene Professor *Callendar* unter Beihilfe der englischen Elektrizitätsindustrie eine großzügige Forschung unternommen. In dieser Abhandlung sind die von ihm hauptsächlich benutzten Methoden und Apparate beschrieben. Er fand, daß die beste Methode, die Eigenschaften des Dampfes bei sehr hohen Drucken festzustellen, darin besteht, den Wärmeinhalt des Dampfes bei Kondensation nach Drosselung auf geringen Druck zu messen.

Viele wertvolle Messungen wurden auf diese Art bis auf Drucke von 280 kg/cm² ausgeführt.

Professor *Callendar* untersuchte hauptsächlich die Eigenschaften des Dampfes im sog. kritischen Bereich, in dem bei Übersteigung einer gewissen Temperatur und eines gewissen Druckes die Verdampfungswärme gleich Null wird.

Aus diesen direkten Messungen des Wärmeinhalts des Dampfes im kritischen Bereich folgten wertvolle Schlüsse über die ganze Theorie der Zustandsänderung von Flüssigkeit zu Dampf.

Die Theorie, welche durch die Versuche bestätigt wurde, ist die sog. „Koaggregationstheorie", nach welcher die Zustandsgleichungen der Flüssigkeit und des Dampfes verschieden sind.

Sorgfältige Versuche wurden unternommen, um den Einfluß von mitgeführter Luft auf die Eigenschaften des Dampfes, hauptsächlich in der kritischen Region, festzustellen. Dieser Einfluß ist bedeutend, und der Sättigungsdruck bei Luftbeimischung ist bei einer gegebenen Temperatur geringer.

In dem Text der Abhandlung findet man die thermodynamischen Formeln, welche Professor *Callendar* während der letzten 40 Jahre ausgearbeitet hat. Die notwendigen Konstanten zur Ausrechnung werden angegeben. Diese Formeln liefern einen guten Vergleich für die Ergebnisse der verschiedenen Forscher, und, mit den neuesten Berichtigungen versehen, geben sie die Eigenschaften des Dampfes bis zu den höchsten Drucken genau wieder.

Eine Konferenz der bedeutendsten Forscher, die sich mit Dampfversuchen beschäftigen, wurde letzten Sommer in London abgehalten. Dabei war Gelegenheit zu einem Meinungsaustausch gegeben, und die Werte, welche man nach den verschiedenen Methoden erhält, wurden verglichen.

Die Hoffnung wird ausgesprochen, daß Konferenzen dieser Art jährlich abgehalten werden, bis ein internationales Abkommen über die Werte der Dampfkonstanten bei allen Temperaturen und Drucken erreicht wird.

Nr. 243

United States of America

Researches on Heat Transmission and Insulation

National Research Council, American Society of Heating and Ventilating

W. V. A. Kemp, Prof. W. H. McAdams and H. C. Hottel and R. H. Heilman

Research on Heat Transmission in the United States

W. V. A. Kemp

Foreword

The Committee on Heat Transmission, formed under the auspices of the Division of Engineering and Industrial Research of the National Research Council is composed of some ninety-one members, consisting of scientists, engineers, and engineering executives, and is divided into the following Committees:

A. Executive Committee.
B. Sub-Committee „A" (Heat Transfer by Convection).
   „ „B" (Thermal Insulation).

Sub-Groups:
1. High Temperature Insulation;
2. Moderate Temperature Insulation.
3. Building and Low Temperature Insulation.
4. Electrical Insulation.

Sub-Committee „C" (Definitions and Nomenclature).
   „ „D" (Heat Transfer by Radiation).

The functions of the Committee may be briefly summed up as follows:

A. The publication of definitions, symbols, and units for Heat Transmission in co-operation with the American Standards Association.

B. The dissemination of information relative to research work on Heat Transfer now being conducted by various agencies.

C. The preparation and publication of methods of testing Thermal Insulation in the four temperature ranges shown above.

D. The preparation of two comprehensive texts on Heat Transfer by Convection and on Heat Insulation.

E. The support of four fellowships as follows:
1. Heat transfer from oil to oil through metallic surfaces at Harvard University.

2. Heat Transfer between water in both the liquid and vapor phase at Cornell University.
3. Heat transfer by radiation from luminous and non-luminous flames at the Massachusetts Institute of Technology.
4. Certain calorimetric studies on heat transfer at the Worcester Polytechnic Institute. This latter project is only partially supported by this Committee.

The following three papers have been prepared for the World Power Conference by individual authors who are members of our Committee.

Heat Transmission between Fluids and Solids, Conduction and Convection (For Summary see page 76)

W. H. McAdams

Due the to fact that heat transmission plays an important role in so many different types of industrial processes, there has been considerable interest in this field, as evidenced by the voluminous literature on the subject. One of the most important problems is the prediction of the rate of heat transmission by conduction and convection between a fluid and a solid under a given set of conditions, using the equation

$$q = hA\,(\Delta t). \qquad (1)$$

As a result, many attempts have been made to develop equations for predicting the coefficient of heat transfer, h, from the physical properties of the fluid, the configuration of the apparatus, and the mean velocity of the fluid past the heat transfer surface. For turbulent flow of a fluid past a solid it has long been known that, in the immediate neighborhood of the surface, there exists a relatively quiet zone of fluid, commonly called the film, and that a considerable fraction of the total drop in temperature, between the main body of the fluid and the solid surface, occurs in the film. In more recent years it has been recognized [1] that for *isothermal* conditions, the flow in the film is still viscous in character, and the outer boundary of the film is now commonly defined as characterized by some critical value of the Reynolds number, $\frac{DV\varrho}{\mu}$. For convenience in visualization, it is often assumed that the temperature gradient is wholly confined to the film flowing in viscous motion, although due to the lack of perfect mixing in the main body of the fluid, this assumption is not exact [2]. However, in spite of this simplification the use of a film concept is of considerable value.

In attacking the problem of predicting the coefficient of heat transmission, several different methods have been used. The first is a strictly mathematical method based on the differential equations [3] of hydrodynamics and heat conduction. Due to the complexity of the equations, simplifying assumptions are introduced prior to integration, thus limiting the results obtained. One of the most popular simplifications consists in ignoring the viscosity of the fluid, and, as a result, the integrated equations so obtained [4] in general fall far short of fitting the experi-

mental data, although under certain limited conditions the equations so obtained give results closely agreeing with experimental data. For the case of heat transfer between wires and gases, King [5] followed this method of attack assuming that the thickness of the gas film varied in an arbitrarily chosen manner with position on the perimeter. In view of the assumptions made [6], this theoretical equation agrees surprisingly closely [7] with experimental data. In spite of obvious difficulties, this method of approach still offers promise.

Another method of attack is the use of the Reynolds analogy [8] between heat transfer and friction, which leads to the simple equation:

$$h = fcG/2 \tag{2}$$

wherein consistent units are employed. Since the friction factor, f, increases with increase in viscosity, Eq. 2 states that h increases with

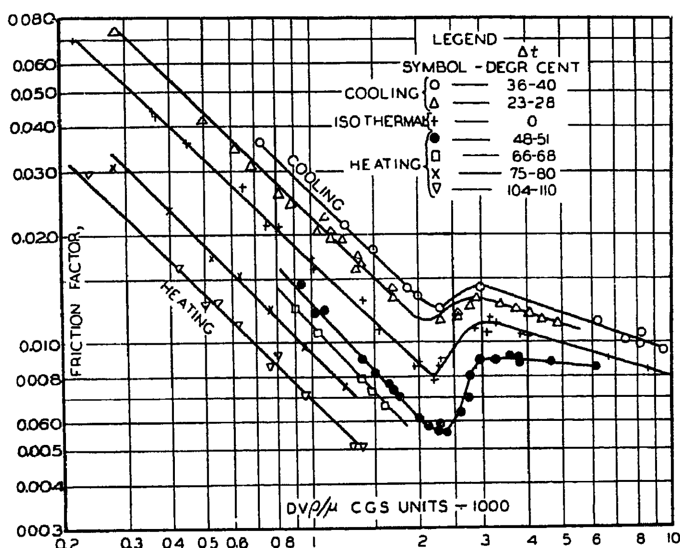


Fig. 1.

increase in viscosity, which is known to be untrue for liquids. For fluids of low viscosity, such as gases, this equation gives reasonably close agreement with the experimental data; for water the predicted results are of the right order of magnitude; but for the viscous oils the equation gives results far in excess of experimental data. A somewhat improved form of Eq. 2 has been proposed by *Schiller* and *Burbach* [9], but is subject to the same general limitations mentioned above. Apparently the best published modification of the Reynolds equation is that suggested by *Prandtl* [10] in 1910 and later by *Taylor*.

$$h = \frac{fcG/2}{1 + r\left(\frac{c\mu}{k} - 1\right)}. \tag{3}$$

This calls for r, the highest velocity of the film flowing in viscous motion, divided by the average velocity of the fluid over the entire cross-section. Employing for f, the value f_i obtained under isothermal conditions, *Stanton* [11] finds that a value of r of approximately 0,3 brings the *Taylor* formula into reasonably close agreement with certain heat transfer data for water. For oils the *Prandtl* equation agrees better with experimental data than that of *Reynolds*. Thus, in employing these relations, the possible effect of heat transfer on friction is ignored.

Based on theoretical considerations, it has recently been shown [12] that heat transfer should affect fluid friction. This effect is due to the variation of viscosity with temperature, and the consequent influence upon velocity distribution, which in turn determines fluid friction. Preliminary experiments with oils have been made to test out these predictions, and the results are shown in Fig. 1. In using the *Reynolds* or *Taylor* equation for predicting h, it is customary to evaluate f from a chart based on isothermal friction data, taking $\frac{DV\varrho}{\mu}$ at the average temperature of the main body of the fluid. In order to show the errors so introduced, the observed values of f in Fig. 1 are plotted versus $\frac{DV\varrho}{\mu}$ based on the average temperature of the main body of the fluid. On this basis, for liquids whose viscosities change rapidly with temperature, the apparent effect of heat transfer on friction is considerable in the region of modified viscous flow, $\frac{DV\varrho}{\mu} < 2100-2300$ c. g. s. units, but in the turbulent range the effect seems to decrease considerably.

A third method of attack is based on the application of dimensional analysis, and this well-known method is of considerable value, although it is subject to limitations set by the assumptions as to the factors involved.

Following this method *Nusselt* [13] derived the following equation for the warming or cooling of fluids flowing inside pipes:

$$\frac{hD}{k} = \Phi\left(\frac{DV\varrho}{\mu}\right), \quad \psi\left(\frac{c\mu}{k}\right).^{1} \qquad (4)$$

This is called the "original" *Nusselt* equation, to distinguish it from his equation for gases. *Rice* [14], *Morris* and *Whitman* [15], *Cox* [16], and others have recently used Eq. 4 in correlating experimental data. In an admirable experimental research, *Nusselt* firmly established that the functions of V and ϱ were equal over a pressure range of 1 to 16 atmospheres for air, and over a lower pressure range for carbon dioxide and illuminating gas. As a result of this work, practically all valuable recent heat transfer equations for warming and cooling gases employ the mass velocity term "G", which equals $V\varrho$. This name, mass velocity, was apparently introduced by *Reynolds* [17] in 1883 when he made

[1] Eq. 4 is often erroneously referred to as the Boussinesq equation.

his brilliant prediction of the importance of the term. From work with gases only, the utility of the term, $\psi\left(\frac{c\mu}{k}\right)$, can hardly be established since it varies but little from one gas to another, as was pointed out by *Nusselt* [18]. This naturally suggests the use of liquids of high viscosity as a method of considerable promise in laying a firm experimental basis for a general equation for fluids insible pipes. Unfortunately, complications then arise due to the large variation in viscosity with temperature for most viscous liquids, and the difficulty of determining the proper average to be used.

For the free convection between fluids and solids, equations based on dimensional analysis are used by *Davis* [19], *Griffiths* and *Davis* [20], *Rice* [21], *Heilman* [22] and others.

Based on one or more methods of attack, the literature contains a very large number of equations purporting to apply to some general case, such as the warming and cooling of fluids flowing inside pipes. Such equations are extremely helpful and, when used within range of the variables supported by experimental data, are often quite reliable. Unfortunately, the majority of such general equations contain more factors than have been experimentally investigated and in reality are scientific guesses, based on test data covering variations in fewer factors than are called for by the general equations.

Individual coefficients of heat transfer between fluid and solid are of greater utility than overall coefficients from fluid to fluid, and many publications give only overall coefficients. In such cases the value of the data often can be increased by the use of the graphical method of *E. E. Wilson* [23] which determines the individual coefficients from the overall values, U, by plotting $\frac{1}{U}$ versus $\frac{1}{V^{0,8}}$. In this connection it is sometimes advisable [24] to replace the term $\frac{1}{V^{0.8}}$ by the term:

$$\frac{D}{k}\left(\frac{\mu}{DG}\right)^n\left(\frac{k}{c\mu}\right)^m.$$

The literature on heat transfer abounds with papers reporting experimental data, and in a number of cases the worker failed to avoid errors previously noted by another investigator, or collected incomplete data. Consider an experimental set-up involving the steady flow of a fluid through a single steam-jacketed tube. Obviously, all measuring instruments should be carefully calibrated. Naturally, surface temperatures of the tube will be measured at a number of points, but the temperatures so read may be subject to considerable error as pointed out by *Olhmer* and *Coats* [25]. To avoid undue disturbance at entrance and exit of fluid, straight, unheated sections of pipe, called calming sections, are sometimes used. In such cases, precautions should be taken to avoid undue conduction of heat from the jacketed sections to these outside portions. This is sometimes done by making the calming sections of materials of very low thermal conductivity, such as bakelite

or hard rubber, made to fit flush against the heated sectic in the case of viscous liquids, care should be taken tc average temperature of the fluids leaving the heated the temperature measured at the center-line will be too best done by the use of a properly designed mixing sec1 to give confidence in the data collected, it is advisable balances. For this reason, dry steam should be used so th may be based on the condensate, after correcting for losses c determined in a blank run. The surface condition shoulc stant by a uniform procedure of cleaning, and in order the results obtained are reproducible, a standard run shou at reasonably frequent intervals. This is especially im high coefficients of heat transfer are to be measured [26]. very important to determine pressure drop data during transmission and isothermal runs. The literature now papers where pressure drop data have been collectec transfer experiments. The importance of having data lies in the fact that the designer of apparatus later w an economic balance between power costs and fixed chargc the optimum design of apparatus [27].

A few years ago the National Research Council Comn Transmission was organized [28]. As a result, a researc been mapped out and several fellowships are in operatio to time the Committee publishes a directory of curre: heat transmission, so that the workers in this field may with one another. At the present time two textbooks are under the auspices of the Committee. Standard symbo clature have been adopted both by this Committee and b; Standards Association [29], as shown by the following

Area ....
Temperature, F. or C. ....
Temperature, F. abs. or K. ....
Length of path of heat flow, thickness ....
Total Quantity of heat transferred ....
Time (when t is used for temperature) ....
Thermal transmission (heat transferred per unit ti

$$q = \frac{Q}{\tau}$$

Thermal conductivity (heat transferred per unit ti
unit area, and per degree per unit length) .....

Thermal resistivity ....
Thermal resistance (degrees, per unit of heat tran
per unit time) ....
Thermal conductance (heat transferred per unit
per degree) ....

Thermal conductance per unit area, sometimes called "Unit Conductance" (heat transferred per unit time per unit area, per degree) . . . . C_A

Surface coefficient of heat transfer, Film coefficient of Heat Transfer, Individual Coefficient of Heat Transfer (heat transferred per unit time per unit area, per degree) . h
(In general h is not equal to k/L, where L is the actual thickness of the fluid film.)

Overall coefficient of heat transfer, Thermal transmittance per unit area (heat transferred per unit time per unit area, per degree overall) . . . . U

Nomenclature

In addition to symbols taken from the N.R.C. list, the following are used herein, expressed in c. g. s. units.

c = Specific heat of fluid,
D = Inside diameter.
f = Friction factor in the Fanning equation for fluid friction: head lost due to friction per unit length of pipe $= \frac{f V^2}{2gm}$, where m is the hydraulic radius.
f_i = Friction factor for isothermal conditions.
G = Mass velocity $= V\varrho$.
g = Acceleration due to gravity.
m, n = Exponents, determined experimentally.
r = Ratio of linear velocity at interface between film and main body of fluid, to average linear velocity of main body.
V = Average linear velocity.
μ = Absolute viscosity of fluid.
ϱ = Fluid density.
$\Phi \cdot \psi$ = Functions.
Δt = Temperature difference between fluid and solid.

Acknowledgement

The autor wishes to thank Dr. *T. E. Stanton* for helpful suggestions.

(For bibliography see page 75.)

Radiant Heat Transmission

H. C. Hottel

The dissemination among engineers of an adequate working knowledge of heat transfer by radiation has been hampered by a number of factors, chief among which are the incompleteness of our knowledge of the subject, the lack of organization of what knowledge we do have, the failure of the scientist to concern himself with the application of his specialized knowledge of radiation to radiant heat transfer calculations, and the hesitation of engineers to use some of the methods of calculation which have in the past been available because of their unwieldiness or

complexity. It is the purpose of this paper to present briefly the status of the subject of radiant heat transfer, including recent developments which it is hoped will make the material more practically applicable; to indicate wherein our knowledge of the subject is incomplete; and to give a brief review of present activities in this field of research in America.

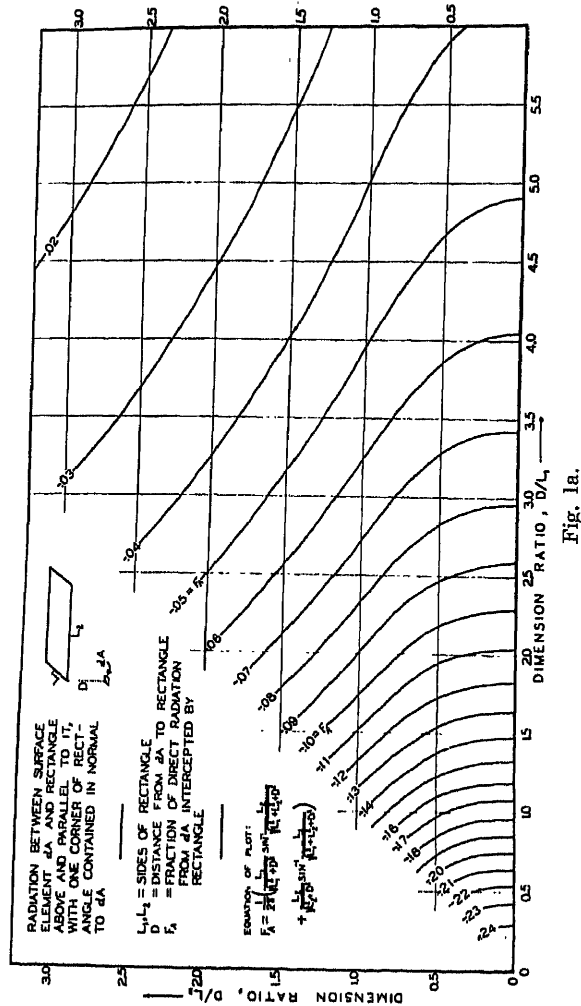


Fig. 1a.

I. Radiation between Solids

The development of heat-consuming industrial processes which demand for their safe or successful operation an exact knowledge of the distribution of heat input into the various parts of the heat receiving surface, and the consequent demand upon engineers to predict furnace performance on paper with all of the accuracy that the most exact

available methods of calculation will permit, have led to a growing interest in the subject of radiation between finite surfaces. No adequate treatment of the subject has been made, and although the principles involved are simple, their misuse in a number of contributions to the engineering literature has not assisted in clarifying the picture.

Radiant heat interchange between finite surfaces may be evaluated by starting with the *Stefan-Boltzmann* law, *Kirchoff's* law, and *Lambert's* cosine principle, the problems involved being exactly analogous to those of photometry and illumination. The formulation of point-to-point radiation in differential form, and the integration between desired limits leads in all cases to an equation of the general form

$$q = A \cdot F_A \cdot F_E \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4), \qquad (1)$$

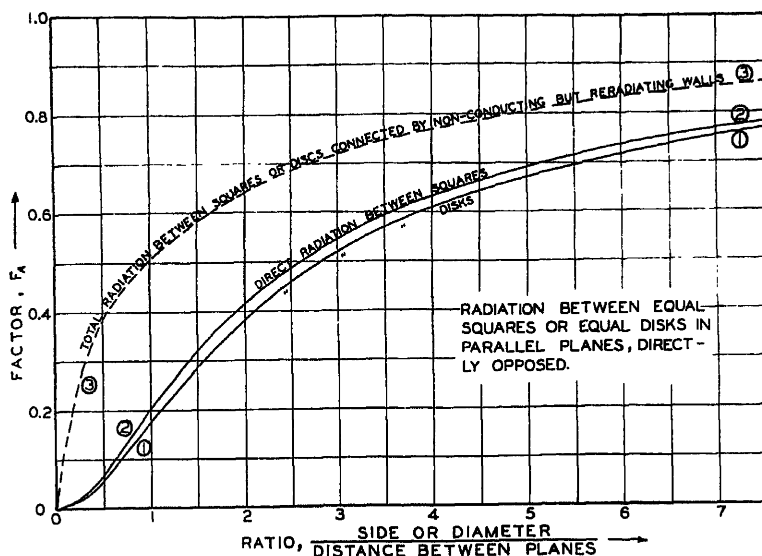


Fig. 2.

in which q = rate of heat transmission (B.t.u./hr., or Kcal./hr); A = area of one of the two surfaces (ft.^{2} or m.^{2}); σ = the *Stefan-Boltzmann* constant (1,723 · 10^{-9} B. t. u./ft.^{2} and hr. and °R^4 or 4,9 · 10^{-8} Kcal./m^2 and hr. and °K^4); F_A is a factor to allow for the average angle throughout which one surface „sees" the other, and is obviously dependent on which surface is chosen to use in the area term A. F_E makes allowance for the departure of the two surfaces from complete blackness, and is a function of their individual emissivities, p_1 and p_2. Table 1 presents a summary of the various cases which have been considered, some of them from the literature on heat transmission, some adapted from problems in illumination treated in works on geometrical optics, and some not before published. All are evaluated with reference to the basic equation (1).

Limitation of space prevents our considering examples of use of Table 1. It is applicable to a calculation of the uniformity of distribution of heat to different parts of the cold receiving surface in a furnace, to determinations of losses through openings in furnace walls, to the

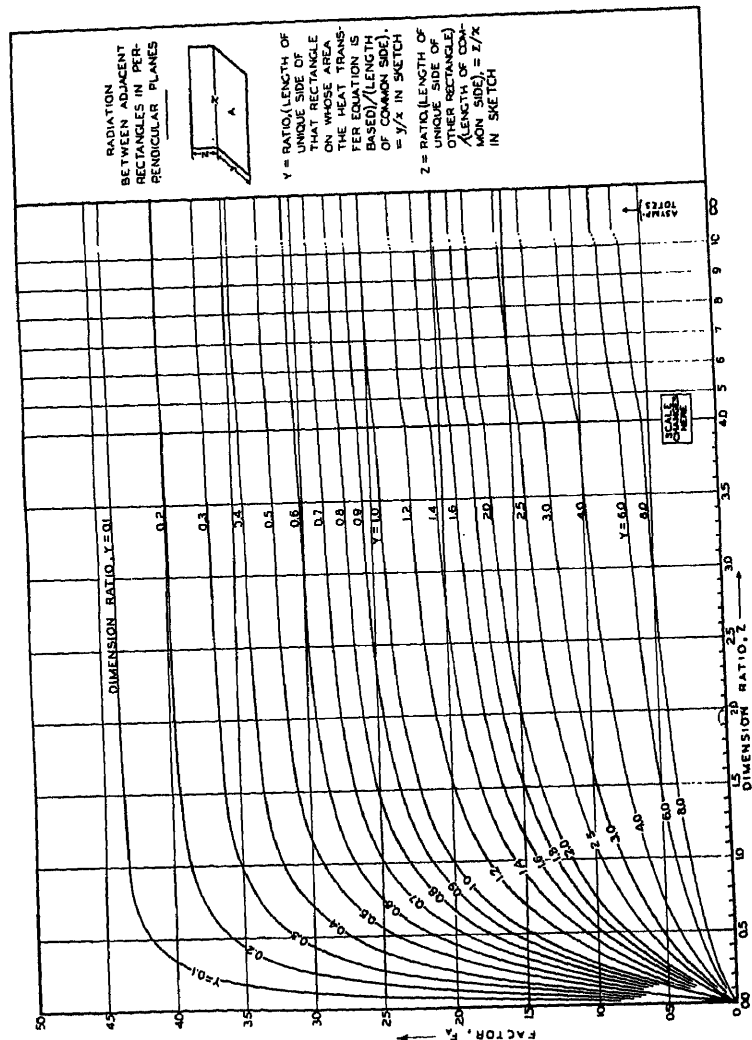


Fig. 3.

design of electric resistor furnaces; in short, any complete consideration of a furnace design problem involves the evaluation of radiant heat transfer between finite surfaces.

It should be possible, with the above table and its accompanying graphs, to treat almost any problem which may arise. For special

:es which do not fall under any of the above cases, however, the ›r surface may be divided into a number of equal areas for each ich the factor F_A may be determined by the method of case (6). lesired F_A for the whole area is then the arithmetic mean of the dual F_A's determined as above. This method involves the integral :os Θ, the evaluation of which *Herman* has treated in connection problems in illumination [30]. *Nusselt* [31] has presented the same ical method with greater clarity, but its use is attended by some ılty, inasmuch as a three-dimensional construction is involved.

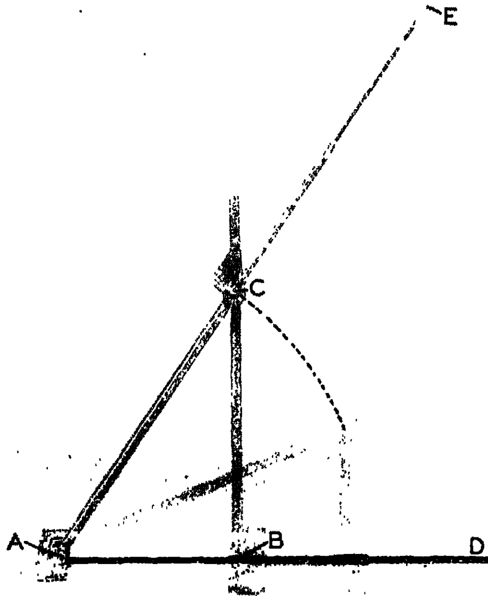


Fig. 4.

apid solution of furnace problems of this type the author has ly constructed a simple mechanical device which has proved and accurate in use. Fig. 4 shows the device in two positions icate its mode of motion. In principle it is a right triangle (ABC) ıypotenuse (AC) of constant length, plane of triangle maintained ıl to the plane of the drawing board on which it is mounted, one : (A) pivoted to the board, right angle corner (B) carrying a , and a rod through hypotenuse (AC) extensible towards (E). d (E) of the arm (AE) sweeps through space, point (B) traces re on the drawing board. Suppose now it is desired to find the ›n F_A of the radiation from a surface element dA which is inter- l by a surface S. From cardboard a reduced model of S is cut

Table 1. Radiation between Solids. Factors for Use in Equation[2]

Surfaces between which Radiation is being interchanged	Area, A	Angle Factor, F_A	Emissivity Factor, F_E
1. Infinite parallel planes	Either	1	$\dfrac{1}{\dfrac{1}{p_1}+\dfrac{1}{p_2}-1}$
2. Completely enclosed body, small compared to enclosing body. (Let subscripts 1 refer to enclosed body)	A_1[3]	1	p_1,
3. Completely enclosed body, large compared to enclosing body. (Subscripts 1 refer to enclosed body)	A_1	1	$\dfrac{1}{\dfrac{1}{p_1}+\dfrac{1}{p_2}-1}$
4. Intermediate case between (2) and (3) above. (Incapable of exact treatment except for special shapes)	A_1	1	$p_1 > F_E > \dfrac{1}{\dfrac{1}{p_1}+\dfrac{1}{p_2}-1}$
5. Concentric spheres or infinite cylinders, special case of (4)	A_1	1	$\dfrac{1}{\dfrac{1}{p_1}+\dfrac{A_1}{A_2}\left(\dfrac{1}{p_2}-1\right)}$, or $\dfrac{1}{\dfrac{1}{p_1}+\dfrac{1}{p_2}-1}$[1]
6. Surface element dA and area A_2. There are various special cases of (6), with results presentable in graphical form. They follow as cases 7, 8, 9, 10	dA	$\int \dfrac{d\omega \cdot \cos \theta}{\pi}$ See text for mechanical integrator	$p_1 \cdot p_2$
7. Element dA and rectangular surface above and parallel to it, with one corner of rectangle contained in normal to dA	dA	Given in Fig. 1	$p_1 \cdot p_2$
8. Element dA and any rectangular surface above and parallel to it. Split rectangle into 4 having common corner above dA, and treat as in Case (7)	dA	Sum of 4 F_A's determined as in Case (7)	$p_1 \cdot p_2$
9. Element dA and circular disc in plane parallel to plane of dA	dA	Formula given below[4]	$p_1 \cdot p_2$

Table 1. Radiation between Solids. Factors for Use in Equation[2] (Continuation).

Surfaces between which Radiation is being interchanged	Area, A	Angle Factor, F_A	Emissivity Factor, F_E
10. Element dA and semi-infinite surface, latter generated by line moving parallel to its original position and to plane of dA. Pass plane through normal to dA, perpendicular to generating line of other surface. In this plane Θ' and Θ'' are angles made by lines connecting dA to edges of surface, with the normal to dA	dA	$\frac{\sin \Theta' - \sin \Theta''}{2}$ Only plane angles are involved	$p_1 \cdot p_2$
11. Two parallel circular discs with centers on same normal to their planes	A_b	Formula given below[5]	Exact treatment dependent of kind of reflection, unknown. F_E lies between $p_1 p_2$ and $\frac{1}{\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} - 1}$ for all cases, nearer the former when areas are small compared to distance apart, nearer latter when areas are close together. Error is quite small if p_1 and p_2 are not far from unity
12. Special case of (11), with discs of same diameter	Either	Given in Fig. 2 line (1)	
13. Two equal rectangles in parallel planes and directly opposite one another	Either	Exact formula given below[6]. Close approx'n: $F_A = \sqrt{F'_A \cdot F''_A}$[6]	
14. Two equal squares in parallel planes and directly opposite one another. Special case of (13)	Either	Given in Fig. 2 line (2)	
15. Two rectangles with common side, in perpendicular planes	Either	Given in Fig. 3	Approximately, $p_1 p_2$
16. Parallel squares or discs, connected by non-conducting but reradiating black walls	Either	Given in Fig. 2 line (3) (approximate)	Approximately, $p_1 p_2$
17. Parallel rectangles connected by [illegible] but reradiat[illegible]	Either	Obtained from (16), as (13) from (14). See note [7] and Fig. 2	Approximately, $p_1 \cdot p_2$

[2] First form follows from assumption of completely diffuse reflection, second if reflection is completely specular. True value will be very much nearer first than second.

[3] Enclosed body must contain no negative curvature if A_1 is used. Replace any "dimples" in surface by equivalent planes in evaluating A_1, and raise "effective" emissivity from p_1 towards unity in proportion to depth of dimple.

[4] Case 9. R = (radius of disc)/(distance between planes); x = (distance from dA to normal thru center of disc)/(distance between planes).

$$F_A = \frac{1}{2}\left\{1 - \frac{x^2 + 1 - R^2}{\sqrt{x^4 + 2(1-R^2)x^2 + (1+R^2)^2}}\right\}$$

[5] Case 11. Radii of discs = a and b. Distance between planes = K.

$$F_A = \frac{1}{2}\left\{1 + \frac{a^2}{b^2} + \frac{K^2}{b^2} - \sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{b^2} + \frac{K^2}{b^2}\right)^2 - 4\frac{a^2}{b^2}}\right\}$$ Use area of disc with radius b.

and mounted above a point dA on a drawing board at the proper proportional distance above and to the side[8]. The pivot-point (A) of the

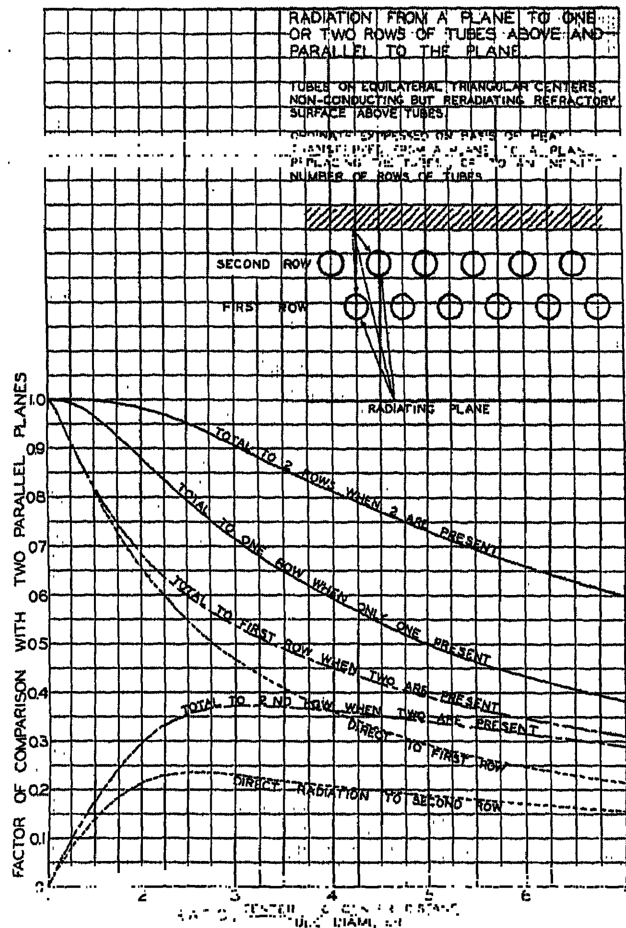


Fig. 5.

[6] Case 13. Ratios of sides to distance between planes $= X$ and Y.

$$F_A = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{XY}\log\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{(X^2+Y^2+1)} - \frac{2}{Y}\tan^{-1}X - \frac{2}{X}\tan^{-1}Y + 2\sqrt{1+\frac{1}{Y^2}}\tan^{-1}\frac{X}{\sqrt{Y^2+1}} + 2\sqrt{1+\frac{1}{X^2}}\tan^{-1}\frac{Y}{\sqrt{X^2+1}}\right\}$$

[7] F'_A = Factor obtained for Case 14, for squares equivalent to smallest side of rectangle.

F''_A = Factor obtained for Case 14, for squares equivalent to largest side of rectangle.

Approximation, $F_A = \sqrt{F'_A \cdot F''_A}$ introduces less than 1% error.

[8] Measurement is made up from the hinge-point in (A), not from the plane of the drawing board.

device is fastened into the board at the point dA and, by moving the block (B) over the table, the edge of the cardboard is caused to remain barely in contact with some point along the extension rod (E). When the periphery of the model has been traced, with its corresponding closed curve drawn by the pencil point, the rod (ACE) is dropped to draw a circle of radius AC. The ratio of the area of the first curve drawn to that of the circle is directly the factor desired, i. e., the fraction of the direct radiation from dA which is intercepted by the surface S.

Among the special problems which may be handled by the formulas given in Table 1 is one of considerable importance in the fields of power generation and petroleum cracking, the determination of the distribution of heat to several rows of tubes exposed to radiation from one side. If we consider radiation from an infinite plane to tubes of infinite extent arranged in planes parallel to the radiating plane, the problem falls under Case 10 of Table 1. The solution is presented in Fig. 5, which gives the factor F_A (based on the area of a plane replacing the tubes) as a function of the ratio of center-to-center tube distance to tube diameter. Line (*3*) gives the fraction of total direct radiation from the lower plane which is intercepted directly by one row of tubes. If a non-conducting but reradiating refractory wall is placed above the tubes and allowed to come to equilibrium, the tubes now receive some reradiarion from above, increasing the total F_A to that read from line (*5*). If two rows are present without a refractory backing, the value of F_A is the sum of values read from lines (*3*) and (*1*). If a refractory backing is present, F_A is the sum of values read from lines (*4*) and (*2*), or line (*6*). In all cases the area term in Equation (*1*) is that of a plane replacing the tubes. Inasmuch as the plot indicates that for most industrial cases (center-to-center distance varies between 2 and 3 times tube diameter) the radiation intercepted directly by two rows is between 87% and 70% of the total radiation from the lower plane, and that with a refractory backing this is increased to between 98% and 91%, there is little reason, from the standpoint of radiant heat reception, for having more than two rows of tubes.

The discussion of solid radiation has so far considered chiefly the determination of the angle factor F_A which, as has been shown, it is possible to calculate with considerable precision. The only questionable assumption in the mathematical treatment is that of the validity of *Lambert*'s cosine principle. While this is known to lead to error, the actual emission of radiation at oblique angles being less than called for by the cosine principle, there is considerable evidence indicating that the error is small. An experimental determination of the departure of various kinds of radiating surfaces from the cosine principle is being undertaken in America by Professor *Bidwell* at Lehigh University.

Although an exact treatment of the emissivity factor F_E in terms of p_1 and p_2 is difficult, particularly for Cases 11 to 16 of Table 1, the limits between which F_E varies are known and are not usually far apart. The chief uncertainty in evaluating F_E arises from the incompleteness of available data on the emissivities of surfaces under

different conditions. We can say in general that emissivities increase with increasing roughness, increasing thickness of oxide film if surface is metallic, and rise in temperature[9], that they decrease with increasing obliquity of angle of emission of radiation. The quantitative effect of such factors as the weathering of surfaces radiating at low temperatures, surface treatment, including rough and finish turning or planing, grinding, polishing, metallic spraying, galvanizing, sherardizing, tinning, calorizing, and aluminum painting is a wide and important field for additional experimental research. A fairly comprehensive summary of emissivity data is given in the new (3rd) edition of *Marks'* Mechanical Engineers' Handbook [32].

Mathematical problems in the field of radiation between solids, as yet unsolved and of considerable practical importance, include the evaluation of the temperature gradient along the non-conducting but reradiating walls connecting two parallel surfaces at different but uniform temperatures, the net heat interchange between two such surfaces (considered approximately in Table 1, Case 16), the transmission of heat by radiation through a mass of granular material, and the conduction of heat through a diathermanous slab with reference to the effect of point-to-point radiation and absorption coefficient.

II. Radiation from Clouds of Particles

The treatment of radiation from powdered coal flames, from dust particles in flames, and from flames made luminous by the thermal decomposition of hydrocarbons to soot, involves the evaluation of radiation from clouds of particles.

The radiation of powdered coal flame has been treated analytically both by *Wohlenberg* and his associates [33], and by *Haslam* and *Hottel* [34], who have shown that the radiation from the flame to its enclosing walls is expressible in the form of equation (1) above, if we use as area that of the flame envelope and as the »effective« emissivity of the flame envelope an expression of the form, $1 - e^{-x}$. Fig. 6 gives the effective emissivity of the flame envelope for three different types of coal, each ground to two different degrees of fineness.

The objections to the treatment resulting in Fig. 6 are that the assumptions are made of 1. constancy of surface rate of combustion of the particles in determining their average size in the flame, 2. uniformity of temperature of the flame, and 3. final particle diameter of zero instead of a diameter equivalent to that of the ash residue. These and other objections make an experimental attack of the problem of extreme importance, particularly when we consider the ever-increasing use of powdered coal in industry. Such experimentation is planned for initiation in 1930 in the Fuel and Gas Engineering department of the Massachusetts Institute of Technology, in connection with measurements of flame propagation in powdered coal combustion.

Radiation from flames made luminous by the presence of soot particles has been treated both mathematically and experimentally. *Schack*

[9] Copper, copper oxide, and the brasses are exceptions.

[35] has shown that, by measuring the true temperature of a luminous flame with a high-velocity thermocouple and its brightness temperature with an optical pyrometer, it is possible to calculate the effective emissivity of the flame envelope. *Hottel* has developed a two-color optical pyrometer for use with luminous flames, by means of which it is possible to calculate both the true temperature and the emissivity of the flame, having measured only its brightness temperatures at two wavelenghts (red and green) with the optical pyrometer. The experimental flames used have been illuminating gas and amyl acetate flames, the thickness being varied by changing the number of flames in a straight row and sighting through their combined depth. The results have not been published.

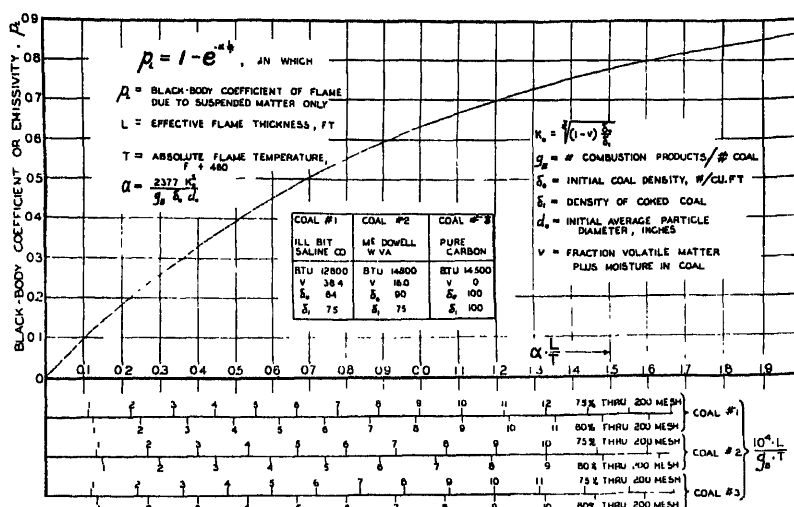


Fig. 6.

Among the experimental determinations of radiation from luminous flames may be mentioned the work of *Coblentz* [36] on the acetylene flame, *Gerlach* (37] on the *Hefner* lamp, *Lent* [38] on the inoculation of non-luminous flames with an illuminating agent, *Senftleben* and *Benedict* [39] on the radiation and temperature of luminous flames, *Haslam* and *Boyer* [40] on measurements of total radiation from small flames of city gas, methane, ethylene, and acetylene, and *Keller* at Carnegie Institute on the effect of aeration and gas composition on the radiation from large gas flames. Such results (with the possible exception of the last-mentioned) are seldom applicable, however, to the design of furnaces where the shape and size of the flame, the degree of primary aeration, the amount of turbulence, etc., are changed. We may generalize from the experimental results to the extent of saying that 1. radiation from luminous flames may reach very high values if the soot concentration is high, approaching within 5% of

that from a black body, 2. as the thickness of the flame or concentration of soot in it is increased, its visual opacity approaches unity and its apparent brightness temperature (obtained with an optical pyrometer) approaches its true temperature long before its emissivity approaches unity, thereby making ordinary visual estimation out of the question, 3. conditions favorable to cracking of hydrocarbons increase the emissivity, 4. the heavier hydrocarbons produce more luminous flames than the lighter ones. Such factors as rate of cracking, emissivity of individual particles, amount and effect of temperature gradient, turbulence of flame, coagulation of initially formed particles into soot and subsequent diminution of size by combustion all require experimental and analytical study.

III. Radiation from Clear Gases

Controversy over the mechanism of origin of radiation from clear hot gases, either in non-luminous flames or in their combustion products, has been rife for more than thirty years. Although the question is not completely settled, evidence points to the view that part of the radiation can be accounted for by considering it to be due to thermal excitation of water vapor and carbon dioxide molecules, resulting in simultaneous quantum changes in the energy levels of rotation and interatomic vibration of the molecules; that part of the radiation from flames and explosions is probably due to excitation accompanying the chemical change involved in combustion; that the first mechanism can account for the major portion of the radiation from products of combustion and from unconfined flames [41]; that the second mechanism is controlling in the case of explosions [42].

Schack [41] was the first to emphasize the importance of gas radiation in heat transfer calculations on furnaces, and to indicate how the data of physicists on the infra-red absorption spectrum of gases could be used by engineers for calculating radiant heat transmission. He showed that the radiation from the envelope of a hot gas mass could be expressed as a complicated function of temperature, thickness of gas, partial pressure of radiating constituent, and shape of gas mass; that, due to the localization of gas radiation in three distinct parts of the spectrum, there were three such functions to be added together to determine the total radiation due to carbon dioxide, and three more for water vapor. The results were presented in the form of tables.

Hottel [43], following the method of *Schack*, showed that by proper choice of thickness of gas layer, *Schack*'s factor to allow for gas shape could be made approximately unity for all three regions of the spectrum. thereby permitting an addition of the radiations from the different spectral regions and the expression of the total radiation from water-vapor or carbon dioxide as a function of temperature, effective thickness of gas layer, and partial pressure of the gas. The results are given in the references cited in the form of graphs for quick engineering use. The problem of what value to use for mean temperature of the gas

flowing along a flue or through a long furnace, when its temperature varies continuously from one end to the other, is also considered.

Objections have been raised to the method outlined in the two preceding paragraphs, chiefly on account of the failure to make allowance in the derivations for the temperature gradient which must exist in a gas layer losing heat from its bounding surface. This is a problem of considerable importance and difficulty, possibly analogous to the calculations of temperature gradients in stellar nebulae, and, to the author's knowledge, has not been attacked by anyone.

A more serious objection to the data now in use for gas radiation calculations is that they were obtained by investigators not anticipating their application to heat transfer, and that they are not as reliable as direct measurements of total radiation from gases would be. The National Research Council is sponsoring an investigation of this problem, being carried out in the department of Fuel and Gas Engineering of the Massachusetts Institute of Technology. It is planned to make measurements of total radiation from carbon dioxide and water vapor in varying concentrations and thicknesses of gas layer, and at different temperatures, and to follow this work by a study of radiation from unconfined flames.

The probability of occurence, during explosions, of gas radiation other than that attributable to hot carbon dioxide and water vapor has already been mentioned. The British Gaseous Explosions Committee has obtained interesting results which have as yet not been quantitatively explained. The presence of small quantities of water vapor in carbon monoxide—oxygen explosions has a profound effect on the total radiation from such explosions.

Another problem falling under the head of radiation from clear gases is that of absorption or emission of radiation by metallic vapors above liquid metal baths. The question is of practical importance in connection with the use of total radiation pyrometers on such surfaces, and with respect to the absorption of radiant heat in melting furnaces. Work on radiation from metallic vapors is now in progress at the University of Michigan under the direction of Professor *H. M. Randall.*

This summary of the whole field of radiant heat transmission in a paper of limited length has of necessity been sketchy. Where space has forced a choice of material for presentation, the work of American investigators has been given in somewhat greater detail than that of the Europeans, because of the feeling that the former work is less generally available to the audience for which this paper is intended. The author offers his apology for any omissions in connection with statements of investigations now under way in America on the subject of radiant heat transfer. (For bibliography see page 75.)

Transmission of Heat through Insulation

R. H. Heilman

The author has been requested to prepare a short paper on heat transmission dealing briefly with the views formerly held as to the

mechanism of heat transfer through heat insulation, as well as the conceptions which we now have of the mode of heat transfer resulting from the latest researches on heat transmission and heat insulation.

This paper is, therefore, a very brief discussion of the relative importance of the three modes of heat transmission, conduction, radiation and convection as applied to heat insulation.

The author is responsible for some of the conclusions included in the paper, and will welcome correction where his judgment is in error.

Engineering units are used in this report. Conductivity is expressed in B. T.U. per hr. per sq. ft. per in. per °F.

Former Views on Mode of Transmission

The transfer of heat through insulating materials was formerly believed to take place mostly by conduction and convection, with possibly a small percentage by radiation, the popular opinion being that any material which entrapped large quantities of dead air spaces would constitute a good insulating material. The geometrical shape of the particles composing the insulation was also supposed to be of considerable importance.

It was believed that the highest insulating value was obtained from materials in which the particles of solid matter were composed of needlelike crystals having very small points of contact with the adjacent crystals. The small cross sectional area of the crystal would decrease the path through which the heat could flow by conduction and the small points of contact from one solid particle to another would offer an added surface resistance which would still further decrease theheat flow. These internal surface resistances were believed to be highly important.

In purchasing heat insulating materials, the material having the lowest apparent density was usually given the preference.

The relative importance of the various items mentioned above was little understood or appreciated, with the consequence that many crude and inefficient types of heat insulation were in use.

However, the knowledge gained from scientific investigations on the subject of heat transmission, which includes the effects of radiation and conduction, especially at high temperatures, has enabled the manufacturer to produce heat insulations capable of withstanding very high temperatures with an efficiency much higher than was formerly considered possible.

A brief discussion of the relative importance of conduction, radiation and convection through insulating materials follows.

Conduction. With the exception of those insulating materials which have large pore spaces, heat is transmitted through insulation mainly by conduction. Space does not permit of a lengthy discussion on the various molecular and electron theories of heat conduction. However, these theories seem to indicate quite clearly that the rate of propagation of heat, depends on the nature of the molecules composing the substance, so that the conductivity would be expected to vary considerably in different substances.

These suspicions have been amply verified by conductivity tests on metals, and also on heat insulating materials. The tests on metals have shown that conductivity is not related to density, as for instance aluminum has a conductivity value approximately 6 times higher than lead, while the specific gravity is approximately 4,5 times lower. Also the conductivity of lead is about 11 times lower than copper, while the specific gravity is about 1,3 times greater. The conductivity of insulating materials is usually considered to depend upon the bulk density of the material. However, tests have shown that this is not always so. For instance conductivity tests on two powdered materials indicated that one recently discovered material had a conductivity value somewhat lower than a well known insulating powder, although the apparent density was approximately 3 times greater.

However, the bulk density of a given material has considerable bearing on the conductivity. Many dense materials having practically no insulating value, when transformed by chemical processes into light fluffy materials attain high insulating values, although chemically no change has taken place in the composition of the materials. The increased insulating value is probably due to the infinite number of exceedingly small air pockets created by the chemical action.

Materials such as Magnesia, having over 85% porosity, have exceedingly small air pockets so that the heat is transmitted through the insulation practically entirely by pure conduction across the pore spaces and by pure conduction through the magnesia particles themselves.

The importance of the pure conduction coefficient of air is often not realized. Even at comparatively low temperatures, the average velocity of the molecules in air is very high, so that the heat transmitted across the air space by this tremendous bombardment is comparatively high.

The conductivity of air at 0° C has been found to be approximately 0.000057 in C.G.S. units.

Since the average velocity of the molecules in air increase with increase in temperature, the conductivity of air increases with increase in temperature, the temperature coefficient per ° C being 0.0029 as found by Eukens or k for air $= k_0\ (1 + 0.0029\,t)$.

Therefore, the conductivity of air in engineering units at 32° F = 0.166 and at 300° F = 0.237 B.T.U. per hr. per sq. ft. per in. per ° F.

This increase in conductivity of air with temperature is sufficient to allow for the total increase with temperature of the conductivity of some moulded insulations.

It is very probable that the conductivity of the material composing the insulation also has some positive temperature coefficient, although the temperature coefficient is negative for metals.

The former belief that the increase in conductivity of all heat insulating materials with temperature was due to radiation and convection is probably unfounded, of course with the exception of those having extremely large air pockets where radiation becomes very important.

It is rather hard to indicate at this time, the relative importance of internal contact resistances, although the author is inclined to believe that they are not nearly as important as suspected.

Radiation. The heat transmitted by radiation across the pore spaces in an insulation, depends largely upon the diameter of the pore spaces in the direction of the heat flow. Since the radiation is proportional to the differences of the fourth powers of the absolute temperatures, it is readily apparent that only where the pore spaces are comparatively large or where the temperature drop across the spaces is comparatively great that the loss by radiation will be of much importance.

A rough approximation of the effect of reducing the size of the pores in an insulation can be seen from the following:

If we take an air space bounded by two planes, neglecting conductivity, etc., the heat transfer by radiation for an emissivity value of 1 for the bounding surfaces is given by the *Stefan-Boltzmann* equation as

$$R = C(T_1^4 - T_0^4). \tag{1}$$

If we divide the air space into two equal parts with another plane, since the heat transmitted must be the same through each space, we have

$$R_1 = C(T_1^4 - T_2^4) = C(T_2^4 - T_0^4) \quad \text{or} \quad T_2^4 = \frac{T_1^4 + T_0^4}{2} \tag{2}$$

substituting in (2) the value of T_2^4, we have

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= C\left(\frac{T_1^4 + T_0^4}{2} - T_0^4\right), \\ R_1 &= \tfrac{1}{2} C(T_1^4 - T_0^4). \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Which indicates that the use of a baffle in the center of an air space will cut down the radiation by approximately one-half.

If we divide the air space into three equal parts, we have

$$R_1 = C(T_1^4 - T_2^4) = C(T_2^4 - T_3^4) = C(T_3^4 - T_0^4), \tag{4}$$

whence

$$(T_1^4 - 2T_2^4 + T_3^4) = 0, \qquad T_2^4 - 2T_3^4 + T_0^4) = 0$$

or

$$T_2^4 - T_3^4 = \tfrac{1}{3}(T_1^4 - T_0^4),$$

whence

$$R_1 = \tfrac{1}{3} C(T_1^4 - T_0^4). \tag{5}$$

It is therefore apparent that the use of one baffle will reduce the radiation by approximately one-half, and that the use of two baffles will reduce it to approximately one-third and so on.

In the case of some of the insulations such as magnesia having extremely small subdivisions amounting to probably thousands per inch of thickness, it is apparent that the amount of heat transmitted through the insulation by radiation is practically zero. However, in the case of deeply corrugated insulations such as air cell the heat transmitted by radiation is relatively very great.

e ratio of heat transmitted by radiation to that by conduction gh an insulating material can be roughly approximated by the

method suggested by *Doughill, Hodsman* and *Cobb* [44] for refractory material. Comparing the transmission of heat by conduction across a parallel faced slab of solid material to that of a similarly shaped air space, when the two parallel faces are in each case at T_1^0 and T_2^0 absolute. The quantity of heat transmitted by conduction across the solid per sq. ft. per hr. per unit thickness $= k\,(T_1 - T_2)$ B.T.U. and by radiation across a pore of the same thickness $= 17{,}23 \cdot 10^{-10}\,(T_1^4 - T_2^4)$ B.T.U.

When the transfer of heat by radiation equals that by conduction, we can equate these giving

$$\frac{k(T_1 - T_2)}{D} = 17{,}23 \cdot 10^{-10}(T_1^4 - T_2^4)\,. \tag{6}$$

From equation (6) it is easy to determine at what temperature the radiation and conduction are equal, bearing in mind that for small pore spaces $(T_1 - T_2)$ would be small compared with T_1 or T_2. Calling $(T_1 - T_2)\ \Delta t$, then

$$\frac{k}{D} \cdot \Delta t = 17{,}23 \cdot 10^{-10}[(T_2 + \Delta t)^4 - T_2^4]\,. \tag{7}$$

$\frac{k}{D} \cdot \Delta t = 17{,}23 \cdot 10^{-10} \cdot 4\,\Delta t \cdot T_2^3$ when higher terms of Δt are neglected.

$$T_2^3 = \frac{k \cdot 10^9}{6{,}89\,D} \quad \text{or} \quad T_2 = 10^3 \sqrt[3]{\frac{k}{6{,}89\,D}}\,. \tag{8}$$

If we take four ply air cell in which we have 4 air cells approximately 0,2 in. in depth for a one in. thick covering and assuming a conductivity of 0,8 for the asbestos, paper, we have

$$T_2 = 1000 \sqrt[3]{\frac{0{,}8}{6{,}89 \cdot 0{,}2}} = 834^\circ \text{ absolute or } 374^\circ\,\text{F}\,,$$

which indicates that for temperatures up to approximately 374° F, the corrugated construction is more efficient than the same thickness of solid asbestos having a conductivity of 0,8 B.T.U.; it is also much lighter in weight and costs considerably less to manufacture.

The ratio ν of heat conducted by a solid grain to that radiated across a pore, for various diameters of pores, absolute temperatures and conductivity of solid material is given by

$$\nu = \frac{1{,}45\,k \cdot 10^8}{D\,T_2^3}\,. \tag{9}$$

Convection. The amount of heat transmitted by convection across the pore spaces in heat insulating materials is in practically all cases essentially zero. Tests conducted at Mellon Institute on corrugated asbestos coverings having corrugations slightly greater than 0,1 inch indicated that there were no convection currents in the pore spaces. The test apparatus was set up in such a way as to eliminate all flow of heat upward with free flow downwards. In this case there could be no heat transmitted through the insulation by convection. The

flow of heat was then reversed allowing the heat to flow upward through the insulation. Heat loss curves plotted from the results of the two tests which were conducted over a considerable temperature range were found to coincide, thus proving that no heat flow took place by convection.

In a second test two four-ply per inch corrugated coverings, one having the corrugations closed every 3 inches, the other having the corrugations open the entire length of the section were tested on both horizontal and vertical pipes. These tests indicated that there was no flue action in the covering having the unbroken corrugations extending for the 36 inch length of the covering when placed on a vertical pipe. It is therefore apparent that for rough surfaces, such as asbestos paper, the height of the corrugation has no effect on the convection for air spaces up to 0,2 in. in diameter. Perhaps this is due to the fact that the motionless film of air which is believed to adhere to any heated surface is probably greater than 0,1 in. in thickness. This would prevent any air motion up one side of the insulation and down the other.

From the results of the above tests, it can be concluded that there is no heat transfer by convection through an insulating material having pore spaces equal to or less than 0,2 in. in diameter. This limitation in size probably includes all insulations now on the market.

Decreasing Heat Losses by Use of Metallic Paints

The writer has recently visited several plants where the canvas jackets of the pipe covering are painted with aluminum paints, for the purpose of decreasing the heat losses as well as for appearance and protection for the jacket itself.

Since there seems to be considerable misunderstanding in regard to the use of metallic or bronze paints, a brief discussion of this item is included in this paper. Since the greater part of the heat loss from the canvas surface takes place by radiation, and since the emissivity of bronze paint on a canvas jacket is much lower than the emissivity of the canvas itself, it is often believed that the use of the bronze paint will considerably decrease the total heat loss. However, the fact that the bronze paint will increase the surface temperature considerably is quite often neglected. The saving is therefore not as great as is usually suspected.

A concrete example will best serve to illustrate the method to use in determining the saving for any given condition.

For example, a 3-in. pipe operating at a temperature of 380° F is insulated with a 1 in. thickness of laminated asbestos pipe covering with a conductivity value of 0,432 B.T.U. at a mean temperature of 254° F. The room temperature is 80° F. What will the heat loss be with an unpainted jacket, and also with the canvas jacket painted with aluminum paint?

In order to calculate the heat loss through the insulation, it is first necessary to know the temperature of the canvas jacket, or the heat loss from the jacket as a function of the temperature difference between

the jacket and surrounding air. An approximate empirical equation for this relation has been determined by the author as follows:

$$\Delta t = \frac{272,5\, q}{q + \frac{564}{D^{0,19}}} \qquad (10)$$

Now the heat loss through a cylindrical insulation can be calculated from the formula

$$q = \frac{k(t_1 - t_3 - \Delta t)}{r_2 \log_e \frac{r_2}{r_1}} \qquad (11)$$

or

$$q = \frac{k\left(t_1 - t_3 - \dfrac{272,5\, q}{q + \frac{564}{D^{0,19}}}\right)}{r_2 \log_e \frac{r_2}{r_1}} \qquad (12)$$

Substituting the known values in equation (12) and solving the resulting quadratic, we have

$q = 87,6$ B.T.U. per sq. ft. of canvas surface.

Also $\Delta t = 48°$ F, whence the canvas temperature $= 128°$ F.

In order to separate the canvas surface loss into its two components radiation and convection, it is necessary to know the emissivity value of the canvas surface and also to have an equation for the free convection. Experiments conducted by the author with the aid of a very sensitive radiometer indicated emissivity values of 0,94 to 0,98 for unpainted canvas at temperatures of 100° F to 200° F. Taking the mean value of 0,96 for a canvas temperature of 129° F, the heat loss by radiation from the *Stefan-Boltzmann* formula

$$R = 17,23 \cdot 10^{-10} \cdot e(T_1^4 - T_2^4) \qquad (13)$$

or

$$q_r = 17,23 \cdot 10^{-10} \cdot 96(588^4 - 540^4) = 57 \text{ B.T.U.}$$

An equation giving the loss by free convection from various geometrical shapes as determined from a large number of tests is

$$q_c = CA\left(\frac{1}{D}\right)^{0,2} p^{0,533}\left(\frac{1}{T \text{ avg.}}\right)^{0,181} \Delta t^{1,266} \text{ B.T.U. per sq. ft. per hr.} \qquad (14)$$

The value of C for the various shapes as determined by the author [45] and various investigators are

Horizontal cylinders	1,016
Long vertical cylinders	1,235
Vertical plates	1,394
Horizontal plates facing upwards	1,79
Horizontal plates facing downward	0,89
Spheres	1,82

The heat loss by free convection from the canvas surface o
laminated covering is found to be

$$q_c = 1{,}016\left(\frac{1}{5{,}5}\right)^{0{,}2} \cdot \left(\frac{1}{564}\right)^{0{,}181} \cdot 48^{1{,}266} = 30{,}9 \text{ B.T.U. per sq. ft. pe}$$

The total loss then from the two equations $= 87{,}9$ B.T.U. w
checks very well with the value of 87,6 B.T.U. obtained by th
of the single empirical formula.

To obtain the loss from the bronze painted canvas surface,
necessary to use equations (13) and (14) for radiation and conve
together with the formula for the heat loss through the insula
Owing to the fact that the increase in the canvas temperature re
in increasing the mean temperature of the insulation which consequ
increases the value of k, it is easier to determine the surface lo
trial, assuming values of Δt until the loss through the insulation c
with the loss from the surface.

The average emissivity value of aluminum paint applied to a ca
jacket was found to be 0,33. By trial, it is found that the canvas
perature will be approximately 151° F when painted with alum
paint with the same conditions of pipe and room temperature.

The loss by radiation $= 17{,}23 \cdot 10^{-10} \cdot 0{,}33 \cdot (611^4 - 540^4) = 50{,}9$ B.T

while the loss by convection $= 1{,}016 \cdot \left(\frac{1}{5{,}5}\right)^{0{,}2} \cdot \left(\frac{1}{575{,}5}\right)^{0{,}181} \cdot 7$

$= 50{,}5$ B.T.U. The total loss from the aluminum painted su
then $= 81{,}4$ B.T.U. per hr. Checking the loss through the in
tion, we have, since the mean temperature of the insulation is

$$\frac{380 + 151}{2} \text{ or } 265{,}5 \text{ and } k = 0{,}44, \quad q = \frac{0{,}44\,(380 - 151)}{2{,}75 \log_e \frac{2{,}75}{1{,}75}} = 81{,}2 \text{ B.}$$

per sq. ft. per hr. The saving by the use of the aluminum paint th

$$\text{fore} = \frac{87{,}6 - 81{,}2}{87{,}6} \cdot 100 = 7{,}3\,\%.$$

On flat surfaces and installations where the surface temperat
are much higher, the use of bronze paint will result in much gre
savings. Occasionally short lengths of steam pipes are left bare w
repairs are often necessary and in many cases great numbers of va
and fittings are left entirely bare. The use of bronze paint will re
in enormous savings in such cases since the pipe temperature
remain practically the same as the steam temperature and the
value of the lower emissivity can be obtained.

To enable one to readily determine the heat losses from va
surfaces charts are shown in Fig. 7 and Fig. 8, which have been pl
from equations (13) and (14).

In using the radiation chart, a sufficiently close approxima
will be obtained by using an emissivity coefficient of 0,95 to 0,9
most surfaces met with in practice, such as iron and steel pipe, b

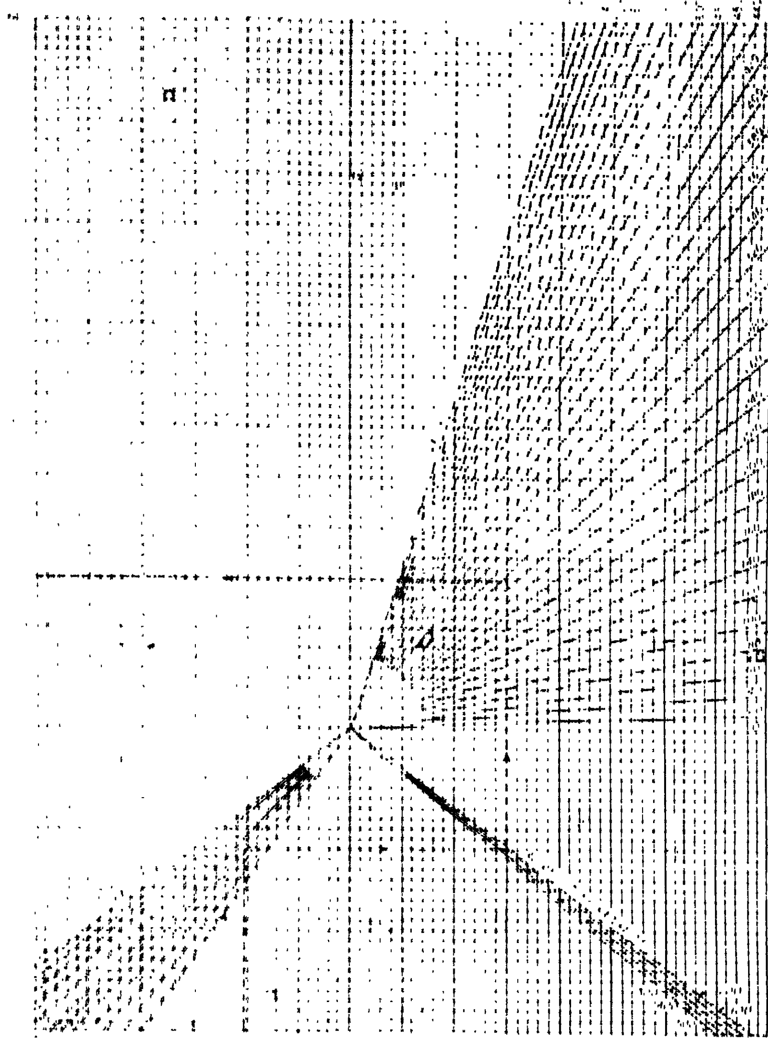


Fig. 7 Heat Transmitted By Convection.

stone, cement, wood and other rough surfaces, with the exception of smooth metallic surfaces or polished metals.

Committee on Heat Transmission

In order to improve the general knowledge and to coordinate the researches on heat transfer being conducted throughout the United States, the Committee on Heat Transmission, National Research Council, has undertaken an extensive program on all phases of heat transfer. Various committees have been appointed to assist in this

program, and thus far one very excellent report on Definitions, Nomenclature, Symbols and Units has been adopted.

Two test codes on the determination of thermal conductivities have been practically completed and experimental work on other codes is now in progress.

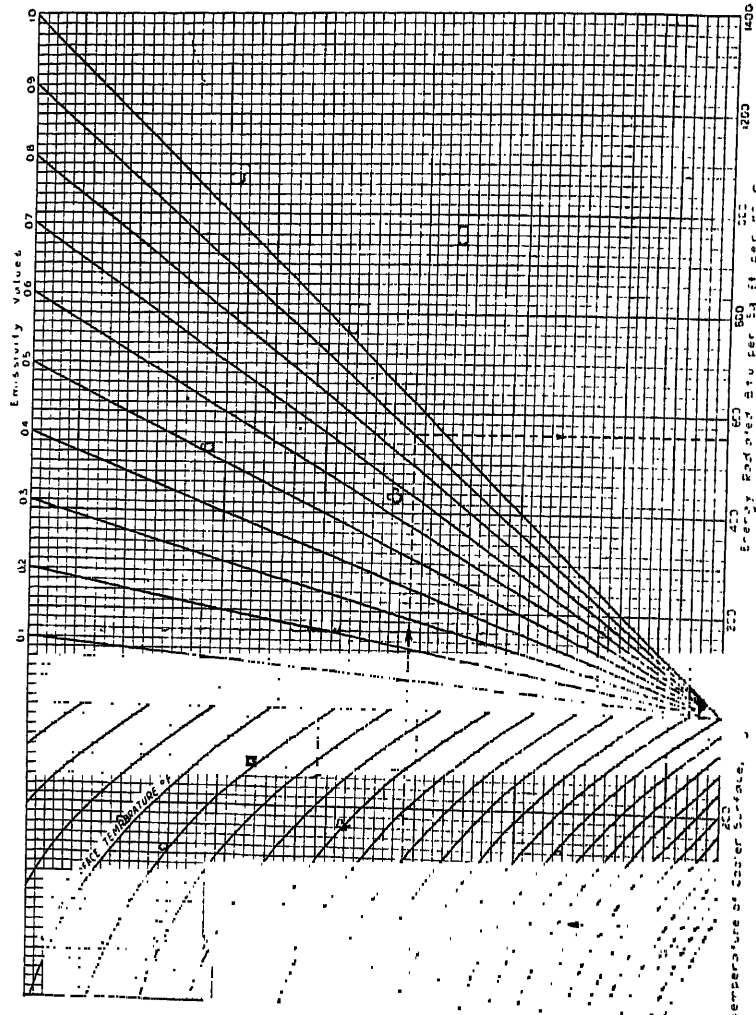


Fig. 8. Heat Transmitted By Radiation.

At present the Committee has in operation three Fellowships which are actively engaged in experimental determinations on heat transfer from oil to oil through metallic surfaces, on heat transfer between water in the liquid and vapor phase, and on heat transmission by radiation from luminous and non-luminous flames.

The work of the Committee is therefore highly commendable and should result in very valuable information.

Bibliography

[1] *Stanton, Marshall* and *Bryant,* Proc. Roy. Soc. of London 97A (1920), 413.

[2] *Pannell,* Tech. Rep. Brit. Adv. Comm. for Aero. Rep. and Mem. No. 243, Vol. I, Part 2 (1916—17).

[3] *Fourier,* Mem. de l'Acad. 12 (1833), 507. — *Poisson,* "Theo. Math. de la Chaleur", Bachelier, Paris, 1835. — *Ostrogradsky,* St. Pet. Ac. Sc. Bull. 1 (1836), 25. — "Oeuvres de Fourier", Edited by *Darboux,* Vol. II, 595, Gauthier-Villars, Paris 1890.

[4] *Graetz,* Ann. der Phys. 18 (1883), 79; 25 (1885), 337. — *Boussinesq,* J. Math. Pur. et Appl. I (1905), 285—332. — *Russell,* Proc. Phys. Soc. of London 22 (1909—1910), 445; Phil. Mag. 20 (1910), 591. — *Leveque,* "Les Lois de la Transmission de Chaleur par Convection", Annales des Mines, Ser. 12, Vol. 13 (1928), 201—381.

[5] *King,* Phil. Trans. Roy. Soc. of London 214A (1914), 373—432.

[6] *Stanton,* Tech. Rep. British Adv. Comm. for Aero., Rep. and Mem. No. 94, Appendix (1912—1913), 45. — *Morris,* Engineering (London) 96 (1913), 178. — *Rubach,* Forsch. V. D. I. 135 (1916).

[7] *Chappell* and *McAdams,* Trans. A. S. M. E. 48 (1926), 1201.

[8] *Reynolds,* Proc. Manchester Lit. and Phil. Soc. 8 (1874); "Scientific Papers of Osborne Reynolds", Cambridge Univ. Press (1901), Vol. I; Trans. Roy. Soc. of London 158, Part 2 (1883), 51. — *Stanton,* Phil. Trans. 190A (1897), 67.

[9] *Schiller* and *Burbach,* Phys. Zeit. 29 (1928), 340.

[10] *Taylor,* Tech. Rep. Brit. Adv. Comm. for Aero., Rep. and Mem. No. 272, Vol. II for 1916—1917, 423; see also *Perry,* "The Steam Engine", The MacMillan Co. (1909), Chapter 3.

[11] *Stanton,* "Dict. Appl. Phys.", The MacMillan Co., N. Y., 1922—23, 401; see also "Mechanical Properties of Fluids", Van Nostrand, N. Y., 1924.

[12] *Kerril* and *McAdams,* Chem. and Met. 36 (1929), 464.

[13] *Nusselt,* Mitt. u. Forsch. 89 (1910).

[14] *Rice,* Ind. Eng. Chem. 16 (1924), 460; I. C. T. Vol. 5, 234.

[15] *Morris* and *Whitman,* Ind. Eng. Chem. 20 (1928), 234.

[16] *Cox,* Trans. A. S. M. E. 50 (Jan.-April 1928), 12.

[17] *Reynolds,* Phil. Trans. (1883).

[18] *Nusselt,* Mitt. u. Forsch. 89 (1910).

[19] *Davis,* Phil. Mag. 40 (1920), 692; 41 (1921), 899; 43 (1922), 329; 44 (1922), 920; 47 (1924), 972; 48 (1925), 285.

[20] *Griffiths* and *Davis,* Food Investigation Board, Dept. Sci. and Ind. Res. (Gr. Brit.), Special Report No. 9 (1922).

[21] *Rice,* Ind. Eng. Chem. 16 (1924), 460; I. C. T. Vol. 5, 234.

[22] *Heilman,* Mech. Eng. 51 (1929), 355.

[22A] "Der Industrielle Wärmeübergang", Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1929.

[23] *E. E. Wilson,* Trans. A. S. M. E. 37 (1915), 473 — *McAdams, Sherwood* and *Turner,* Trans. A. S. M. E. 48 (1926), 1223. — *McAdams,* Chem. Met. Eng. 34 (1927), 599.

[24] *R. J. S. Pigott,* Private communication.

[25] *Othmer* and *Coats,* Ind. Eng. Chem. 20 (1928), 124, 445.

[26] *Pridgeon* and *Badger,* Ind. Eng. Chem. 16 (1924), 474.

[27] *Lewis, Ward* and *Voss,* Ind. Eng. Chem. 16 (1924), 467.

[28] *W. V. A. Kemp,* Mech. Eng. 51 (1929), 368.

[29] 29 West 39th St., New York City.

[30] *R. A. Herman*, Treatise on Geometrical Optics, Camb. Univ. Press. (1900).
[31] *W. Nusselt*, Zs. Ver. Deut. Ing. 72 (1928), 673.
[32] *L. S. Marks* (Editor), Mech. Engrs. Handbook, 3rd Ed. (1930), McGraw-Hill Book Co., N. Y.
[33] *Wohlenberg* and *Morrow*, Tr. Am. Soc. Mech. Eng. 47 (1925), 127. — *Wohlenberg* and *Lindseth*, Ibid. 48 (1926), 849. — *Wohlenberg* and *Anthony*, Ibid. (Fuels & St. Power Sect.) 50 (1928).
[34] *Haslam* and *Hottel*, Am. Soc. Mech. Eng. Tr., Fuels & St. Power Sect. 50 (1928), 9.
[35] *A. Schack*, Zs. f. Techn. Physik 6 (1925), 530.
[36] *W. W. Coblentz*, Bull. U. S. B. of Stds. 9 (1913), 81; 13 (1916), 357; 15 (1918), 639.
[37] *W. Gerlach*, Physik. Zs. 21 (1920), 291.
[38] *Lent*, Wärme 49 (1926), 145.
[39] *Senftleben* and *Benedict*, Zs. techn. Physik 7 (1926), 489.
[40] *Haslam* and *Boyer*, I. and E. C. 19 (1927), 4.
[41] *A. Schack*, Zs. f. techn. Physik 5 (1924), 267; 7 (1926), 556; Ver. Deut. E.H.L., Mitt. 55 d. Wärmestelle (1924).
[42] *Garner* and *Johnson*, Phil. Mag. 3 (1927), 97.
[43] *H. C. Hottel*, Tr. Am. Inst. Chem. Engrs. 19 (1927); I. & E. C. 19 (1927), 888.
[44] *Doughill*, *Hodsman* and *Cobb*, Thermal Conductivity of Refractory Materials. Journ. Soc. Chem. Ind. 34 (1915), 465—471.
[45] Trans. A. S. M. E., Vol. 51, Nr. 22 (1929), 287.

Zusammenfassung

Forschungen über Wärmeübertragung und Isolierung

Wärmeübertragung zwischen Flüssigkeiten und festen Körpern: Leitung und Konvektion

W. H. McAdams

Hauptsächlich bespricht der Artikel die einzelnen Koeffizienten der Wärmeübertragung zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten. Es gibt drei klassische Methoden, um die Aufgabe anzugreifen: 1. die der Mathematik, auf Differentialgleichungen der Hydrodynamik und der Wärmeleitung gegründet; 2. die der Reynoldschen Analogie zwischen Wärmeübergang und flüssiger Reibung; 3. die der Lehre von den Dimensionen (Ähnlichkeitsprinzip). Jede Methode wird besprochen und die durch die verschiedenen Annahmen eingeführten Beschränkungen werden angegeben. Data werden gegeben, um die Wirkung der Wärmeübertragung an die Reibung zu erklären.

Es wird eine graphische Methode gezeigt, die einzelnen Koeffizienten der Wärmeübertragung aus den gesamten Koeffizienten zu erhalten; einige für die Messungen des Wärmeüberganges nützliche Vorsichtsmaßregeln werden angegeben.

Die Tätigkeit des "National Research Council Committee on Heat Transmission" wird kurz erwähnt und ihre amtliche Nomenklatur für Wärmeübertragung angegeben.

Wärmeübertragung durch Strahlung

H. C. Hottel

Der gegenwärtige Stand unseres Wissens in bezug auf Wärmeübertragung durch Strahlung wird unter drei Kapiteln zusammengefaßt: 1. Strahlung zwischen festen Körpern; 2. Strahlung von Wolken von Teilchen; 3. Strahlung von klaren Gasen. Der erste Abschnitt wird etwas ausführlicher dargestellt als die beiden anderen. Die Bewertung des Austausches der Wärmestrahlung zwischen zwei Flächen

nimmt die Stefan-Boltzmannsche Gleichung in Anspruch, dabei auch einen Winkelfaktor, F_A genannt, welcher der endlichen Größe der betreffenden Flächen Rechnung trägt. In einer Tabelle wird der Faktor F_A für siebzehn verschiedene Flächenanordnungen gegeben, wobei die Möglichkeit besteht, fast jeden Fall in Ausdrücken der normalen Formeln zu bewerten. Für diejenigen Fälle, worin F_A eine komplizierte Funktion der betreffenden Variabeln ist, sind graphische Kurven aufgezeichnet, um die Berechnung zu erleichtern.

Im zweiten Abschnitt werden die theoretischen Ergebnisse des Problems der Strahlung von Kohlenpulverflammen dargestellt, dabei auch die Gegeneinwände. Analytische und experimentelle Ergebnisse über das verwandte Problem der leuchtenden Flammenstrahlung werden zusammengefaßt. Im dritten Abschnitt wird der Stand unseres Wissens über nichtleuchtende Gasstrahlung dargestellt.

Noch zu lösende Aufgaben werden auf jedem der drei Gebiete dargestellt mit der Angabe der Arbeiten, die zur Zeit in Amerika an solchen Aufgaben im Gange sind.

Wärmedurchgang durch Isolation

R. H. Heilman

Der Aufsatz enthält eine kurze Erörterung über die früheren Ansichten, die für den Wärmedurchgang durch Isolierungen für richtig gehalten wurden, zusammen mit einer kurzen Erörterung über die heutigen Ansichten, die sich aus den neuesten Forschungen über den Wärmedurchgang und über Wärmeisolation ergeben.

Die verhältnismäßig große Wichtigkeit der drei Wärmeleitungsarten, Leitung, Strahlung und Fortpflanzung, wird besprochen und der Schluß gezogen, daß keine Wärmeübertragung oder Fortpflanzung durch die handelsüblichen heutigentags hergestellten Isolierungen stattfindet. Bei gegossenen Isolationen, bei welchen die Hohlräume unendlich klein sind, wird angenommen, daß die Wärmeübertragung einzig und allein durch Leitung stattfindet. Es wird auch nachgewiesen, daß der Temperaturkoeffizient für die Leitfähigkeit der Luft genügend hoch ist, um das Wachsen der Leitfähigkeit bei höheren Temperaturen bei einigen der gegossenen Isolationsarten zu erklären.

Bei gewellten Isolierarten, bei welchen die Lufttaschen sehr groß sind, wird angenommen, daß die Wärmeübertragung durch Strahlung ganz beträchtlich ist. Es werden Formeln angegeben, welche den Einfluß der Strahlung und Leitung auf die Wärmeübertragung als eine Funktion der Leitfähigkeit, Porendurchmesser und absoluter Temperatur zeigen.

Der Einfluß von metallischen Anstrichen, wenn dieselben an der Außenfläche von Wärmeisolierungen angewandt werden, um ihre Wirksamkeit zu erhöhen, ist ebenfalls erörtert.

Formeln und graphische Darstellungen sind ebenfalls in dem Aufsatz vorhanden, welche es ermöglichen, die Wärmeverluste durch Strahlung und Wärmefortpflanzung von nackten Rohren, Kesselwänden und anderen Arten von Oberflächen, welche in der Industrie vorkommen, leicht zu bestimmen.

Nr. 306

Russia

Apparatus for Determining Thermal Conductiviti-- and Specific Heats of Structural and Insulating Mate-

Central Statistical Administration of the U.S.S.R.

Ing. D. L. Timroth

I.

In accordance with the requirements of industry the Physico-Tec... Laboratory of the Thermo-Technical Institute has devised an app... for determining the thermal conductivities of different structura... insulating materials with parallel flow of heat.

The fundamentals of such apparatus are very simple indeed. ... the test specimen in the form of a flat plate is heated and cool... two opposite surfaces, the loss of heat through the specimen ... measured as well as the temperature difference between the sur... The thermal conductivity is calculated by the following formula

$$\lambda = \frac{q\,d}{f\,\Delta t},$$

where d is the thickness of the sample and $\frac{q}{f}$ the density of heat ...

However, it is more convenient to work with a thermal resisti... $R = \frac{f\Delta t}{q}$, instead of λ.

The above apparatus is heated by means of continuous electric cur... while the cooling is effected by water. In order to attain greater accu... the loss of heat is measured by the electric power supplied, since ... calorimetric measurements of heat expenditure are both inconven... and insufficiently accurate. Temperature measurements are car... out by means of copper-constantan thermo-couples soldered to co... plates, the latter being arranged on both sides of the sample. With ... object of eliminating the escape of heat downwards from the main hea... another heater is arranged, consisting of a central portion with a gu... ring situated as shown in Fig. 1. The latter is arranged for the pur... of compensating the side-losses into surrounding medium.

In studying the diagram of the apparatus equipped with two heat... elements—an upper and a lower one—it is interesting to note that ... both elements were maintained at equal temperatures, the lower elem...

giving a somewhat dispersed heat flow, would be incapable of compensating the downward loss of heat of the upper element.

We may point out an interesting characteristic from which the degree of compensation of the side-losses can be evaluated: it is the linear relation between the thermal resistance of the sample and its thickness, at constant temperature difference between its surfaces. The quantity of heat transferred through the sample is obviously given by $q = \lambda \frac{f \Delta t}{d}$; while the magnitude of the side-losses may, within a rough approximation, be expressed by the following formula:

$$q' = \frac{K d p \Delta t}{2} + K^1 f \Delta t,$$

where dp is the lateral surface, K the thermal conductivity of the lateral insulating material and K^1 the same on the side opposite to the sample.

The total loss of heat being obviously given by $q + q'$, the thermal resistance will be $R^1 = \frac{f \Delta t}{q + q'} = \frac{d}{\lambda + K^1 d + \frac{K p}{2 f} d^2}$ and, as a function of d, will be expressed by some curve of the third degree; a straight line will be obtained only if $K^1 = K = 0$. Therefore the gradient of the curve obtained is the measure of the degree to which the side-losses are compensated. The overheating of the guard-ring may result in the gradient of the curve being reversed. We have given up the idea of arranging another guard-ring round the upper heater since, practically, the ring would have to be maintained at the same density of thermal flow as the upper central heater in order to avoid the bending of the isothermals. Consequently, such ring, as an independently adjustable heating element, is superfluous.

From the above it may be seen that the test is conducted in such a way as to maintain equal temperatures in both surfaces of the sample. In this case the thermal flow through the specimen has a uniform value everywhere at right angles to the surfaces. The flow of heat emitted by the main heater is uniform everywhere and therefore equal to that passing through the sample. The final diagram of the apparatus is given in Fig. 1 where A is the test sample while B and C are insulating plates permanently secured to the apparatus. A load is placed on the upper cooler to secure good contact between the component parts of the apparatus. The small dimensions of the latter — 220 × 220 mm — are adopted with a view to accelerating the test as well as to be able to saw the sample out of a single brick.

The diagram of the electric circuit is given in Figs. 2 and 3. As may be seen from Fig. 3, in order to attain maximum sensitivity, the thermocouples by which the temperature is controlled are connected in series and their extra E. M. F. is checked, instead of introducing an additional resistance, by an opposite E. M. F. of a storage battery; readings are

taken by the zero method; if necessary the sensitivity of the thermocouples can be made to register 0,005° C.

Such sensitivity allows the slightest temperature fluctuations being observed and accordingly the current being regulated so that the duration of the test is considerably reduced.

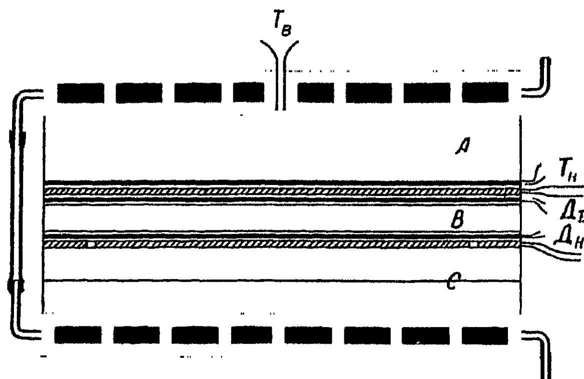


Fig. 1.

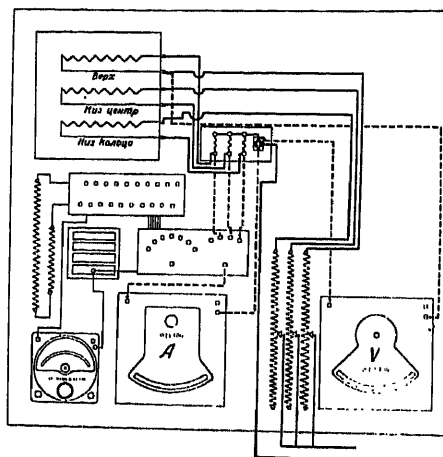


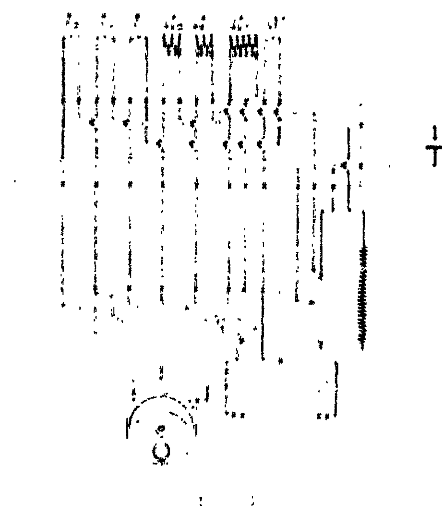
Fig. 2.

The study of the performance of the apparatus has shown that it is of the utmost importance to choose the right kind of material for plates, B and C, so as to obviate thermal waves during the test. It has been found advisable to make plate C of two parts, the upper part being prepared of brick in order to have a great thermal capacity near the heater. The dimensions of the lower guard-ring should be calculated so as to prevent its overloading, as compared with the lower central heater.

A guard ring, 40 mm wide, liberates about 80 to 90% of the whole lower stream of heat.

Experiments with a ring, 20 mm wide resulted in a much more uniform flow of heat.

In order to check the values obtained with the apparatus, a series of experiments was carried out on samples of the same material but of different thickness, the results are given in Fig. 4. Further, in order to compare these results, some experiments were simultaneously conducted in which the side losses were incompletely compensated, viz. the guard ring was heated only to the temperature of the heaters but not to the temperature necessary for obtaining uniform temperature in the



[illegible] graph [illegible] show a pronounced [illegible]. The [illegible] error is evident.

[illegible] materials, [illegible]. All these materials yield straight line curves [illegible] which the point of intersection at [illegible] represents a certain resistance, R, which may be considered as the intermediate resistance of the apparatus (Fig. [illegible]).

From the graphs [illegible] it may be seen that the magnitude of the intermediate resistance fluctuates from 0.016 to 0.026 and, as it forms a considerable percentage of the total resistance (20 to 30%) with a thickness of sample of about 20 to 30 mm, it should be measured for each material separately (see Paper No. 6.39 Reports of the Thermo-Technical Inst., 1928).

II.

With the object of rendering the method more accurate, simplifying the test procedure and combining the determination of both the thermal

conductivity and specific heat of materials I have undertaken further research in these directions.

Apparatus based on the stationary method of test with parallel flow of heat, though possessing advantages, present certain drawbacks. The use of several separately controlled heating elements involves rather complicated and cumbersome adjustment during the whole test procedure.

Other types of apparatus operated by the stationary method but with dispersed flow of heat are unwieldy as, for instance, *Nusselt*'s cubic apparatus. The large size of the sample necessary is due to the assumption that isothermal layers within a comparatively large

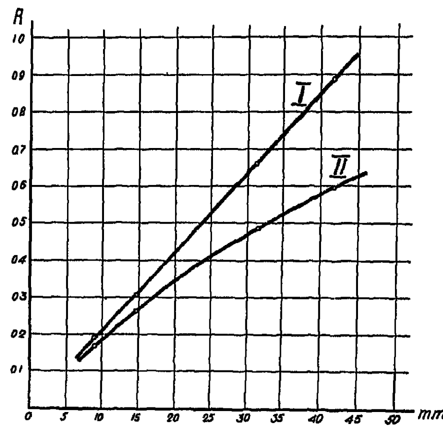
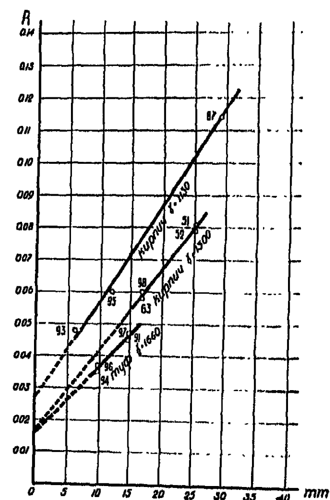


Fig. 4.



Кирпич = brick туф tuff

Fig. 5.

central region are of a spherical form. Such an assumption holds good only in the case of sufficiently large dimensions of the sample. Another inconvenience consists in the comparatively complicated shape of the sample—a cubical body with a spherical hollow in the center. As to the spherical apparatus devised by the same author, this is designed exclusively for granular bodies because of the difficulty in modelling a hollow spherical sample.

Numerous types of apparatus based on the non-stationary method involve the following disadvantage: the calculation of λ requires a rather cumbersome preliminary experiment for determining the specific heat of the material.

In order to avoid the above drawbacks, the apparatus should be designed in such a way as to satisfy, as closely as possible, the boundary conditions established in corresponding differential equations.

In other words these conditions should be so chosen as to be easily and accurately fulfilled in practice with a simple form of test specimen,

and so as not to render the mathematical solution too complicated. With a view to fulfilling these conditions, I have developed an apparatus designed for test samples of a cylindrical form with a dispersed flow of heat, and allowing of the side losses, which are so hard to eliminate, to be considerably reduced. An electrical heater consisting of a thin flat spiral is enclosed between the flat base of the test sample and the surface of the standard insulating plate which the heater is mounted. The whole is placed in a metal cooler with a water counterflow which ensures uniform temperature all over the external surfaces of both cylinders. The constants of the standard plate are determined directly within the apparatus.

In order to simplify the mathematical solution of the problem let us assume that a stationary thermal flow is taking place in an isotropic

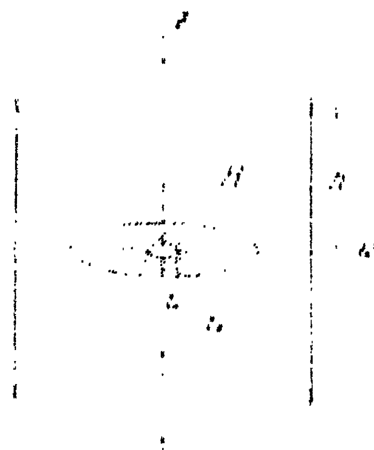


Fig. 6

[illegible] a circular cylinder of radius R and length $2h$, [illegible] source of heat having the form of a flat infinitely [illegible] a plane parallel to the base.

[illegible] solution of the problem let us consider the [illegible] which we have chosen. For convenience we shall [illegible] the case in which the sample is made of the same material as the standard plate and is of the same thickness as the latter, i.e. the [illegible] of radius, R, and thickness, $2h$, which is both isotropic and symmetrical with respect to the heater.

In order to eliminate the almost direct transmission of heat to the cooler at the periphery of the heater, the diameter of the latter is made smaller than the diameter of the cylinder, viz. $r_2 < R$. For the purpose of temperature measurement it is desirable to have in the centre of the apparatus a certain region free from any source of heat, so that the thermocouple is sure to measure the actual temperature of the material instead of that of the heater.

The thickness of the heater may be considered infinitely small since it may always be made negligible as compared with the linear dimensions of the cylinder. We now suppose that the temperature throughout the external surface of the cylinder is constant and, for convenience, equal to 0° C.

For the given case of stationary flow the general differential Laplace equation, in terms of cylindrical co-ordinates, is expressed as follows:

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial \varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial \varrho} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} = 0. \tag{1}$$

Using a rather common substitution:

$$\Theta(z\varrho) = U(\varrho)\, V(z),$$

we obtain a particular solution of the form:

$$\Theta_k = [A_k \sin\text{hyp}\,(m_k z) + B_k \cos\text{hyp}\,(m_k z)]\, J_0[m_k \varrho],$$

where $J_0[m_k \varrho]$ is a *Bessel* function of the order of zero.

Our boundary conditions are of the form:

$$\left.\begin{aligned} \Theta_{z=h} &= 0, \\ \Theta_{\varrho=R} &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

In order to satisfy them it is sufficient to keep $B_k = 0$, $(h - z)$ instead of z and $m_k R = \xi_k$, where ξ_k is one of the innumerable roots of the equation $J_0[\xi_k] = 0$.

Then we may write the particular solution of the differential equation satisfying the boundary conditions (2) for the upper cylinder as follows:

$$\Theta_k = A_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k \frac{h - z}{R}\right] J_0\left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right]$$

and the general solution as a series:

$$\Theta = \sum_{k=1}^{k=\infty} \Theta_k = \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k \frac{h - z}{R}\right] J_0\left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right].$$

We still have to satisfy the condition for the intermediate boundary, i. e. for the heater:

$$\left[\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial z}\right]_{\substack{z=0 \\ R>\varrho>r_2 \\ r_1>\varrho>0}} = 0; \qquad \left[\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial z}\right]_{\substack{z=0 \\ r_2>\varrho>r_1}} = -q,$$

where $2q = \frac{Q}{F}$ the density of thermal flow on both sides of the heater.

Finding coefficients A_k by arranging in a series according to the *Bessel* funtions, we obtain:

$$A_k = 2q \frac{1}{\xi_k^2} \cdot \frac{\frac{r_2}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_1}{R}\right]}{J_1^2[\xi_k]} \cdot \frac{1}{\cos\text{hyp}\,\xi_k \frac{h}{R}} \tag{3}$$

and the general solution will be given by:

$$\Theta = \frac{QR}{\lambda F} \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\frac{r_2}{R} J_1\left[\frac{r_2}{R}\,\xi_k\right] - \frac{r_1}{R} J_1\left[\frac{r_1}{R}\,\xi_k\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]} \cdot \frac{\sin\operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h-z}{R}\right]}{\cos\operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]}\, J \cdot \left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right]. \quad (4)$$

The series converges rapidly for all points except the plane of the heater, though for plane, $z = 0$, the series is also an absolutely converging one. For the sake of simplicity we shall consider instead of the whole series, the following sum:

$$\sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{J_1\left[\xi_k \frac{r}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}. \quad (5)$$

Since with the increase of the number of the term, tan hyp $\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]$ approaches unity as a limit, we can at once substitute unity for the above expression.

In order to ascertain the convergence of expression (5) let us consider the residual term.

$$R_n = \sum_{k=n}^{k=\infty} \frac{J_1\left[\xi_k \frac{r}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}.$$

For sufficiently large values of n we may use the approximate expression of *Bessel* functions according to the formula:

$$\lim_{x=\infty} J_1[x] = \frac{\sin\left[x - \frac{\pi}{4}\right]}{\sqrt{\frac{1}{2}\pi x}}$$

in our case, if we substitute 1, i. e. a larger value, for sin (x) we obtain:

$$R_n < \sqrt{\frac{\pi R}{2r}} \cdot \sum_{k=n}^{k=\infty} \frac{1}{\xi_k \sqrt{\xi_k}}.$$

Since for a large value of k, ξ_k may also be replaced by $\lim_{k=\infty} \xi_k = \pi(k - \frac{1}{4})$ we obtain finally:

$$R_n < \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{R}{2r}} \sum_{k=n}^{k=\infty} \frac{1}{\sqrt{(k-\frac{1}{4})^3}}.$$

As n increases this expression tends to approach zero which fact proves the absolute convergence of the series.

Let us now consider another case, viz.: a cylinder consisting of two parts divided by the plane of the heater.

In the upper part whose thermal conductivity is λ, the temperature field is expressed by function, Θ, while in the lower part possessing thermal conductivity, λ_0, the field is expressed by function Θ_0.

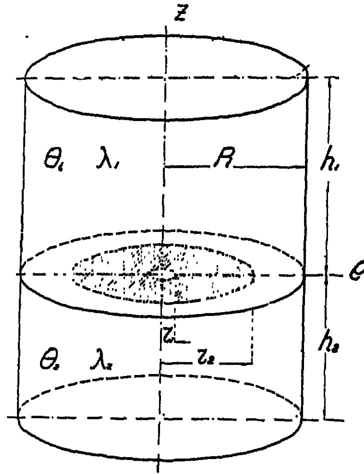


Fig. 7.

We shall consider only the upper cylinder; particular solutions will, as above, assume the following form:

$$\left.\begin{aligned}\Theta_k &= A_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k \frac{h-z}{R}\right] J_0\left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right],\\ \Theta_{ok} &= B_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k \frac{h_0+z}{R}\right] J_0\left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right].\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

For the given case the condition for the heating element may be expressed as follows:

$$\left.\begin{aligned}&\left[\lambda\frac{\partial\Theta}{\partial z} - \lambda_0\frac{\partial\Theta_0}{\partial z}\right]_{\substack{z=0,\\ R>\varrho>r_2,\\ r_1>\varrho>0}} = 0; \qquad \left[\lambda\frac{\partial\Theta}{\partial z} - \lambda_0\frac{\partial\Theta_0}{\partial z}\right]_{r_2>\varrho>r_1} = -2q;\\ &\qquad\qquad [\Theta - \Theta_0]_{z=0} = 0\,.\end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

In the same way as above we find two equations determining the coefficients of series expansion, A_k and B_k.

$$A_k \cos\text{hyp}\left[\xi_k\frac{h}{R}\right] + B_k \cos\text{hyp}\left[\xi_k\frac{h_0}{R}\right] = 4q\cdot\frac{\frac{r_2}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]},$$

$$A_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k\frac{h}{R}\right] - B_k \sin\text{hyp}\left[\xi_k\frac{h_0}{R}\right] = 0,$$

whence we find:

$$A_k = 4q\cdot\frac{\frac{r_2}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}$$

$$\cdot \frac{1}{\sin \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]\left\{\lambda_0 \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h_0}{R}\right] + \lambda \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]\right\}}$$

and the final expansion may be written as follows:

$$\Theta = 2\frac{QR}{F}\sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\frac{r_2}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}$$

$$\cdot \frac{\sin \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h-z}{R}\right] J_0\left[\xi_k \frac{\varrho}{R}\right]}{\sin \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]\left\{\lambda \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right] + \lambda_0 \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h_0}{R}\right]\right\}}.$$

For central point, $z = \varrho = o$ we have:

$$\Theta = 2\frac{QR}{F}\sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\frac{r_2}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}$$

$$\cdot \frac{1}{\lambda_0 \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{h_0}{R}\right] + \lambda \operatorname{ctg} \operatorname{hyp}\left(\xi_k \frac{h}{R}\right)}.$$

Regarding the convergence of the series the same statement can be made as in the foregoing case.

This is the formula according to which a calculation table is worked out as well as a graph for the determination of λ for different values of $\lambda_0, \frac{h_0}{R}, \frac{r_1}{R}, \frac{r_2}{R}$.

$\frac{\Theta}{Q}$ is expressed as a function of $\frac{h}{R}$ and λ, since $\frac{h_0}{R}, \frac{r_1}{R}$ and $\frac{r_2}{R}$ are given. Thus we have obtained a formula for the determination of λ as a function of both loss of heat and temperature difference for given geometrical dimensions of a body. The table is calculated for bodies of different thickness, viz.: from 0.1 R to R (Fig. 12).

The apparatus based on the above solution consists of a small (120 mm) cylindrical brass cooler, round which water is circulated along a double screw thread, and two flat coolers one of which forms the base of the cylinder and the other its loosely fitting cover. The threads of the cooler are connected in such a way as to allow water to enter through the centre of the base, flow round the apparatus along one thread up to the centre of the cover, then flow back along the neighbouring thread down to the centre of the lower cooler and finally flow out into a tank. Such an arrangement is intended to secure the maximum uniformity of temperature on the surface of the test sample. Indeed, the internal cooling allows of a temperature being maintained at every point of the inner surface of the cooler which forms the mean between the respective

temperatures of the inflow and outflow water so that the requisite isothermal surface is obtained as exactly as possible. The temperature gradient between neighbouring threads becomes fairly uniform in the actual metal of the cooler, the distance between the threads being small. The lower part of the cooler is completely blocked by a carbolite plate to the external surface of which a heater is attached consisting of a thin (0,2 mm) constantan wire spiral with a great number of turns. It is important that the wire should possess the smallest possible temperature coefficient; otherwise the condition of the uniformity of the thermal flow could not be fulfilled. The wire is fastened by means of molten carbolite in a spiral lathe-cut slot on the carbolite plate surface. In the centre of the heater a spiral thermo-couple is fixed, its ends, as well as the heater leads, being brought outside to terminals placed under the apparatus through apertures drilled in the carbolite plate.

A second thermo-couple is arranged on the inner surface of the heater. The accuracy of measurement may be brought to a very high degree since the effect of air gaps may be eliminated by filling them with some liquid, e. g. kerosene, after rendering the surface impermeable if the substance is porous. The computation requires exact knowledge of the thermal conductivity of the "standard" material placed in the apparatus which may be acquired by testing it by the symmetrical method, i. e. the sample is replaced by a carbolite plate whose thickness is equal to that of the standard plate.

In this case no tables are required for the computation of results since the equation is easily solved with regard to λ_0. In determining the thermal conductivity of carbolite, tests have been carried out both with and without filling the apparatus with liquid. The discrepancies have proved negligible. This may be explained by the fact that on the periphery of the test sample where the main gap is located, the density of the thermal flow is negligibly small and consequently the temperature gradient is inconsiderable.

Moreover, no heater is present in the centre, where high temperature is measured, which results in the nearly complete absence of thermal flow in this region: besides, the actual air gap is negligibly small in the plane of the heater. Numerous measurements carried out by means of this apparatus have shown fairly good agreement with the data available in literature. The method of test is very simple indeed. Water is fed into the cooler whose temperature is maintained constant by means of a relay, (Fig. 9) current is then switched on and, after a lapse of two hours, two or three readings are taken at intervals of 10 min. whereupon the test is complete. The apparatus requires no adjustment or attention during the test (Fig. 11, 13).

The calculation of the thermal conductivity of a body consisting of two layers composed of different materials may be effected by means of the following formulae:

$$\Theta_{2\varrho=0} = 2\frac{QR}{F}\sum_{k=1}^{k=\infty}\frac{\frac{r_2}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_2}{R}\right]-\frac{r_1}{R}J_1\left[\xi_k\frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k^2 J_1^2[\xi_k]}$$

$$\cdot \frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right] + \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]}{\lambda_1 + \lambda_2 \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right] \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right] + \left\{\lambda_1 \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right] + \lambda_3 \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]\right\} \operatorname{cotg\,hyp}\left[\xi_k \frac{l}{R}\right]},$$

$$\Theta_{1\,\varrho=0} = 2\frac{QR}{F} \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\frac{r_2}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_2}{R}\right] - \frac{r_1}{R} J_1\left[\xi_k \frac{r_1}{R}\right]}{\xi_k J_1^2[\xi_k] \cos\operatorname{hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right]}$$

$$\cdot \frac{\operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]}{\lambda_1 + \lambda_2 \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right] \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right] + \left\{\lambda_1 \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{p}{R}\right] + \lambda_3 \operatorname{tg\,hyp}\left[\xi_k \frac{h}{R}\right]\right\} \operatorname{cotg\,hyp}\left[\xi_k \frac{l}{R}\right]},$$

which are obtained as in the foregoing problem for a three-layer body.

The same formulae may be applied to the approximate determination of temperature coefficient, λ_a, for a thin plate.

III.

Let us now consider the description of the non-stationary flow method of determining the specific heat of materials by means of the same apparatus.

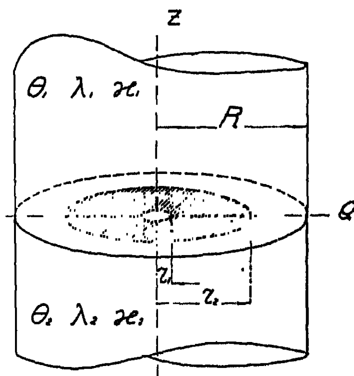


Fig. 8.

Let us solve the problem for this case supposing, for the sake of simplicity, that the cylinders are infinitely long.

In this case the respective differential equations for the upper and the lower parts of the cylinder will be different.

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial \Theta_1}{\partial t} &= \xi_1 \left[\frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} + \frac{1}{\varrho}\frac{\partial \Theta}{\partial \varrho} + \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial \varrho_1^2}\right], \\ \frac{\partial \Theta_2}{\partial t} &= \xi_2 \left[\frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial z^2} + \frac{1}{\varrho}\frac{\partial \Theta_2}{\partial \varrho} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial \varrho^2}\right]. \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

In the first place we shall prove the following proposition:

If $U(z_1 t)$ and $V(\rho, t)$ satisfy the equations:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \xi \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}; \qquad \frac{\partial V}{\partial t} = \xi \left[\frac{1}{\varrho} \frac{\partial V}{\partial \varrho} + \frac{\partial^2 V}{\partial \varrho^2} \right] \qquad (9)$$

then $\Theta = UV$ must satisfy the equation of the form (8). Indeed, multiplying equation (9a) by V and (9b) by U, and adding together the products we obtain:

$$\frac{\partial UV}{\partial t} = \xi \left[\frac{\partial^2 [UV]}{\partial z^2} + \frac{1}{\varrho} \frac{\partial [UV]}{\partial \varrho} + \frac{\partial^2 [UV]}{\partial \varrho^2} \right].$$

Particular solutions of equations (9a) and (9b) may be written in the form:

$$U_k = \frac{[illegible]}{2\sqrt{\xi \pi}} \int\limits_z^\infty x\, dx \int\limits_0^t \varphi(\vartheta) e^{-\frac{x^2}{4\xi(t-\vartheta)}} \frac{d\vartheta}{(t-\vartheta)^{[illegible]}}, \qquad (10a)$$

$$V = A_k e^{-\xi m_k^2 t} \vartheta_0 [m_k \varrho]. \qquad (10b)$$

Boundary conditions for the case in hand will be of the following form:

$$\Theta_{1z=\infty} = 0; \qquad \Theta_{2z=\infty} = 0, \qquad (11a)$$

$$\Theta_{1\varrho=R} = 0; \qquad \Theta_{2\varrho=R} = 0; \qquad (11b)$$

$$[\Theta_1 - \Theta_2]_{z=0} = 0; \qquad (11c)$$

$$\left[\lambda_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial z} - \lambda_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial z} \right]_{z=0} = f(\varrho), \qquad (11d)$$

where

$$f(\varrho)_{R > \varrho > r_1} = 0; \qquad f(\varrho)_{r_1 > \varrho > 0} = 2q$$

Expression (10a) possesses the following properties: at $z = \infty$ it becomes zero. Upon being differentiated with respect to z, after substituting $\alpha = \frac{z}{2\sqrt{\xi(t-\vartheta)}}$, it will assume the form:

$$\frac{\partial U}{\partial z} = [illegible] \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int\limits_{\frac{z}{2\sqrt{\xi t}}}^\infty \varphi \left[t - \frac{z^2}{4\xi \alpha^2} \right] e^{-\alpha^2} d\alpha,$$

which at $z = 0$ becomes $\varphi(t)$, i. e., an arbitrary function of time. Accordingly we still have to obtain an expression for the arbitrary function $\varphi(t)$. For this purpose let us write down an integral equation according to conditions (11c) and (11d). Direct integration of expression (10a) will give:

$$U_k = \sqrt{\frac{\xi}{\pi}} \int\limits_0^t \frac{\varphi(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}} e^{-\frac{z^2}{4\xi(t-\vartheta)}} d\vartheta. \qquad (12)$$

The general solution of the problem may be written as the sum of the products of the above particular solutions (10b) and (12) where coefficients A_k are determined as in the foregoing cases:

$$\Theta_1 = \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \sqrt{\frac{\xi_1}{\pi}}\, J_0[m_k \varrho] \int_0^t \frac{\psi_1(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}}\, e^{-\frac{z^2}{4\xi_1(t-\vartheta)} - \xi_1 m_k^2 (t-\vartheta)}\, d\vartheta ,$$

$$\Theta_2 = \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \sqrt{\frac{\xi_1}{\pi}}\, J_0[m_k \varrho] \int_0^t \frac{\psi_2(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}}\, e^{-\frac{z^2}{4\xi_2(t-\vartheta)} - \xi_2 m_k^2 (t-\vartheta)}\, d\vartheta ,$$

where

$$\psi = \varphi(t)\, e^{\xi m^2 t}.$$

$\left[\frac{\partial \Theta_{1k}}{\partial z}\right]_{z=0}$ being equal to $+\psi_1(t)$ and $\left[\frac{\partial \Theta_{2k}}{\partial z}\right]_{z=0}$ to $-\psi_2(t)$ with $z=0$ the above expression obtained for Θ will become

$$\left.\begin{aligned} \Theta_0 &= \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \sqrt{\frac{\xi_1}{\pi}}\, J_0[m_k \varrho] \int_0^t \frac{\psi_1(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}}\, e^{-\xi_1 m_k^2 (t-\vartheta)}\, d\vartheta , \\ \Theta_0 &= \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \sqrt{\frac{\xi_2}{\pi}}\, J_0[m_k \varrho] \int_0^t \frac{\psi_2(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}}\, e^{-\xi_2 m_k^2 (t-\vartheta)}\, d\vartheta , \end{aligned}\right\} \quad (13)$$

next we have according to condition (11d)

$$\lambda_1 \psi_1(\vartheta) + \lambda_2 \psi_2(\vartheta) = -2q . \qquad (14)$$

So we have three equations which, after ψ_1 and ψ_2 are excluded, enable us to form an integral equation for the determination of Θ_{0k} i.e., the temperature in the plane of the heater. Coefficients of expansion in series, A_k, are determined as before.

In order to exclude ψ_1 and ψ_2 we may use the inversion of integrals, viz.:

if
$$\Theta_{0k} = \sqrt{\frac{\xi_1}{\pi}} \int_0^t \frac{\psi_1(\vartheta)}{\sqrt{t-\vartheta}}\, e^{-\xi_1 m_k^2 (t-\vartheta)}\, d\vartheta ,$$

then
$$\psi_1(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi \xi_1}} \int_0^t \frac{\partial}{\partial \varrho}\left[e^{-\xi_1 m_k^2 (t-\varrho)}\, \vartheta_0(\varrho)\right] \frac{d\varrho}{\sqrt{t-\varrho}} .$$

Finally, using equation (14) we may write:

$$q\sqrt{\pi} = \sigma_1 \int_0^t \frac{\partial}{\partial \varrho}\left[e^{-\xi_1 m_k^2 (t-\varrho)}\, \Theta_{0k}(\varrho)\right] \frac{d\varrho}{\sqrt{t-\varrho}} + \sigma_2 \int_0^t \frac{\partial}{\partial \varrho}\left[e^{-\xi_2 m_k^2 (t-\varrho)}\, \Theta_{0k}(\varrho)\right] \frac{d\varrho}{\sqrt{t-\varrho}} ,$$

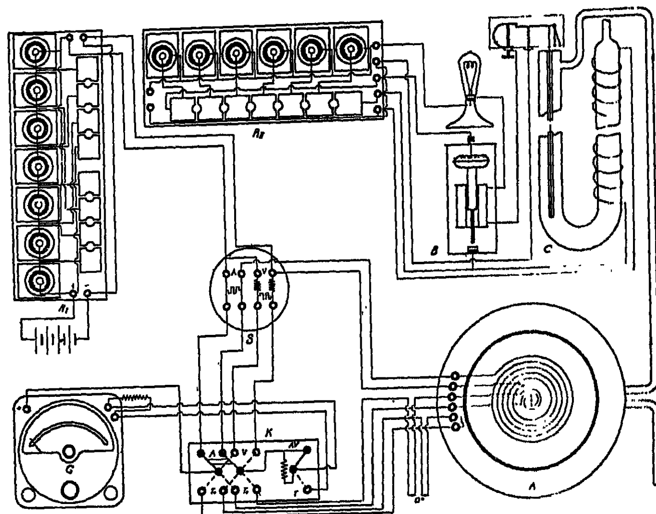


Fig. 9.

multiplying both parts of this equation by $\frac{dt}{\sqrt{x-t}}$ integrating between 0 and ξ and substituting $t-\varrho=(x-\varrho)z$, we shall obtain the requisite integral equation, where again t is substituted for x:

$$2q\sqrt{\pi t}=\pi(\sigma_1+\sigma_2)\,\Theta_{0k}(t)+$$

$$+\int_0^t \Theta_{0k}(\varrho)\,d\varrho\left\{\int_0^1\left[\sigma_1 a_1^2 e^{-a_1^2(t-\varrho)z}+\sigma_2 a_2^2 e^{-a_2^2(t-\varrho)z}\right]\sqrt{\frac{1-z}{z}}\,dz\right\}.$$

where $\sigma=\frac{1}{2}\sqrt{\lambda c\gamma}=\frac{\lambda}{2\sqrt{\xi}}$ and $a^2=m_k^2\xi=\left(\frac{\xi_k}{R}\right)^2\xi$.

Solving the integral equation we obtain series:

$$\Theta_0=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\frac{Q}{F}\sum_{k=1}^{k=\infty}\frac{1}{\xi_k}$$

$$\frac{\frac{r_2}{R}J_1\left[\frac{r_2}{R}\xi_k\right]-\frac{r_1}{R}J_1\left[\frac{r_1}{R}\xi_k\right]}{J_1^2[\xi_k]}J_0\left[\xi_k\frac{\varrho}{R}\right]\frac{\sqrt{t}}{\sigma_1+\sigma_2}\left\{1-\frac{\xi_k^2}{3}\frac{t}{R^2}\left[\frac{\sigma_1\xi_1+\sigma_2\xi_2}{\sigma_1+\sigma_2}\right]+\frac{1}{2!}\cdots\right\}.$$

which, with $\xi_1=\xi_2$ and $\sigma_1=\sigma_2$ becomes

$$\Theta_0=\frac{1}{\lambda\sqrt{\pi}}\frac{Q}{F}\sum_{k=1}^{k=\infty}\frac{\frac{r_2}{R}J_1\left[\frac{r_2}{R}\xi_k\right]-\frac{r_1}{R}J_1\left[\frac{r_1}{R}\xi_k\right]}{\xi_k^2J_1^2[\xi_k]}\cdot J_0\left[\xi_k\frac{\varrho}{R}\right]G\left[\frac{\xi_k}{R}\sqrt{\xi t}\right].$$

where $G\left[\frac{\xi_k}{R}\sqrt{\xi t}\right]$ is Gauss' integral $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{m_k\sqrt{\xi t}}e^{-\alpha^2}d\alpha$.

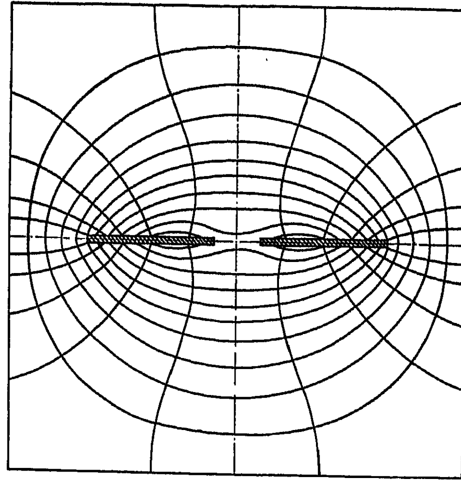
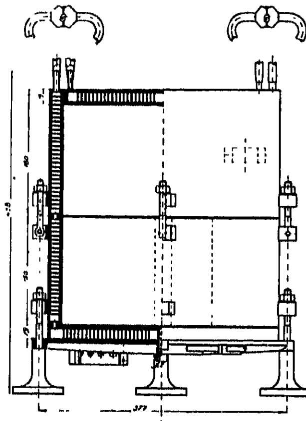


Fig. 10.



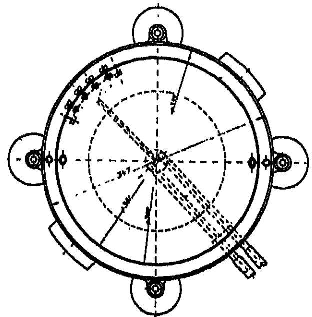


Fig. 11.

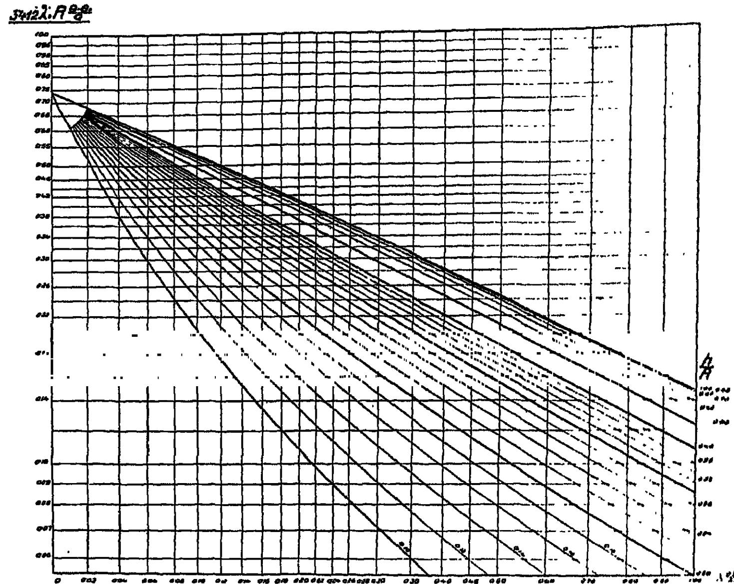


Fig. 12.

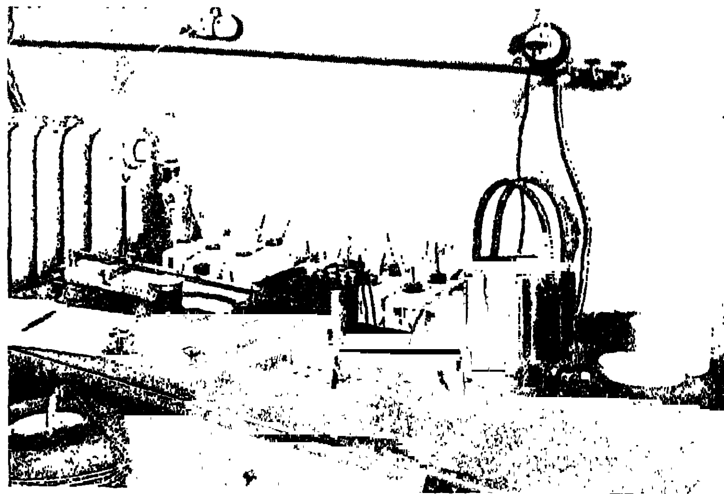


Fig. 13.

The last solution may be easily obtained by directly solving the problem for a homogeneous body. In view of the complexity of the series obtained the latter may be confined to only the initial moment and consequently to the first term of the series which expresses the process of

heating with sufficient degree of accuracy for a sufficiently large initial interval of time, i.e.,

$$\lim \Theta_1 \; [illegible] \; \frac{1}{[illegible]} \frac{Q}{F} [illegible]$$

Temperature is necessarily measured at the heater instead of the center, for which purpose a special thermocouple is inserted. The admission made in the solution of the problem that the cylinder is of infinite length holds good for the initial moment, since neither the thickness nor the diameter of the apparatus affect the results of measurement at the initial moment.

For convenience in calculating the results, values of [illegible] are plotted on a graph on whose abscissa values of [illegible] are plotted. In this graph the rise of temperature during a small initial interval is represented by a straight line. In order to obtain linear relation for a greater interval, it is convenient to plot on the abscissa

$$[illegible]$$

instead of [illegible]. Such a graph allows in calculating the specific heat not only the temperature rise curve being measured conveniently but the [illegible] temperature difference as well, a long time before the test is over, [illegible] stationary regime is established.

The results of [illegible] have also shown very good agreement with both [illegible] and the results obtained by other methods.

Zusammenfassung

I

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] Maße die Dauer der Prüfung vom Material [illegible] Konstruktion der Heizkörper abhängig ist. Die Prüfung der Muster [illegible] und demselben Material, aber von verschiedener [illegible] Beurteilung der Größe des Übergangswiderstandes der [illegible]

II

[illegible] eine weitere Genauigkeit und Vereinfachung der Prüfungsmethodik zu erreichen, habe ich einen zylindrischen Apparat vorgeschlagen, der aus einer zylin-

drischen Kühlvorrichtung mit zwei flachen Deckeln, dem Gegenstrom und der innerhalb desselben befindlichen Isolierplatte besteht, auf deren Oberfläche, die zu gleicher Zeit als Grundlage für das geprüfte Muster dient, ein flacher elektrischer Heizkörper mit einem Thermoelement in der Mitte montiert ist. Eine Konstruktion dieser Art ermöglicht eine genaue Lösung der Differentialgleichung von *Laplace* für die gegebenen Grenzbedingungen: die isothermische Oberfläche im Umkreise, die gleichmäßige Wärmequelle, die Grenzflächen zweier Zylinder, und bietet eine genaue physikalische Verwirklichung dieser Bedingungen. Der Einfluß des Luftspielraumes im Umkreise ist ganz unbedeutend, da die Stromdichte ebenfalls sehr gering ist und auf der Heizkörperfläche der Spielraum selbst sehr klein ist.

Die Wirkung des Spielraums kann infolge der Füllung mit einer Flüssigkeit beinahe annulliert werden, selbstverständlich nachdem die Poren des Musters verschlossen sind, wenn letzteres porös ist.

Falls nur ein Heizkörper vorhanden ist, wird das Experiment bedeutend vereinfacht und die Notwendigkeit der Regulierung während des Experimentes beseitigt. Das zentrale Thermoelement befindet sich im Raume, wo keine Wärmequellen vorhanden sind, wodurch die Temperaturmessungen an Genauigkeit gewinnen.

Die Summierung der Resultate erfolgt nach dem früher zusammengestellten Diagramm, das für die Apparate von jeder Größe und für die geprüften Muster von beliebiger Dicke anwendbar ist. Da der Heizkörper eine theoretische Form aufweist, so kann die Größe des Apparates im Gegensatz zu *Nusselts* kubischem Apparat auch unbedeutend sein, was die Prüfung beschleunigt und die Arbeit mit kleinen Temperaturdifferenzen gestattet.

Da man mittels eines Experiments nicht nur den Wärmeleitungskoeffizient des Materials zu bestimmen suchte, sondern auch die Wärmekapazität, so kam man auf den Gedanken, die Prüfung im ersten Moment anzufangen und sie nach der unstationären Methode durchzuführen. Bei der Berechnung der Prüfungsresultate mußte folgende Integralgleichung gelöst werden:

$$f(t) = \Theta(t) + \int_0^t k(t, x)\, \Theta(x)\, dx\,,$$

die eine ziemlich komplizierte Reihe ergibt. Für das Anfangsmoment konnte man sich mit einer bedeutend größeren Genauigkeit auf das erste Glied der Reihe beschränken, mit Hilfe dessen der Koeffizient der Wärmeaufnahmefähigkeit und die Wärmekapazität des Materials sehr einfach berechnet werden können.

Die mehrfach wiederholten Prüfungen haben die theoretischen Voraussetzungen bestätigt, die bei der Projektierung des Apparats veranschlagt wurden.

Nr. 298

Rußland

Die Erforschung der Gasbewegung in Heizapparaten nach Modellen

Energieausschuß der U.d.S.S.R.

Prof. M. W. Kirpitscheff

In vielen Fällen, wenn die Untersuchung der hydraulischen Bedingungen in den Betriebsöfen und Kesseln große Schwierigkeiten bietet, ist es von großem Nutzen, an das Studium der Modelle zu greifen.

Die Möglichkeit, eine Erscheinung durch ihr Modell zu ersetzen, hat ihren Grund darin, daß die Gesetze, die bei der Untersuchung einer Erscheinung festgestellt wurden, nach bestimmten Regeln auch auf eine Reihe ähnlicher Erscheinungen verbreitet werden können. Beim Aufbauen eines Modells muß man die Sicherheit haben, daß in Wirklichkeit eine Erscheinung reproduziert wird, die dem Muster absolut ähnlich ist. Also muß man verstehen, die Bedingungen zu finden, die zur Verwirklichung einer Analogie vollständig ausreichend sind. Die Schlüsse der Ähnlichkeitstheorie liefern keine genügende Entscheidung der Frage, da sie auf der Voraussetzung beruhen, daß die Ähnlichkeit in diesem oder jenem Fall schon vorhanden ist. Darum muß in jedem einzelnen Fall eine spezielle Analyse vorgenommen werden, und die für die Sicherheit der Ähnlichkeit ausreichenden Bedingungen müssen jedesmal von neuem festgestellt werden.

Die Forschungen zeigen[1], daß die Flüssigkeitsbewegungen in zwei geometrisch ähnlichen Systemen nur dann als ähnlich angenommen werden können, wenn ihre Flüssigkeitsdichte ähnlichen Veränderungen unterworfen ist. Ebenso müssen die Flüssigkeitsviskositäten ähnlich sein. Für die Erfüllung der erwähnten Bedingungen genügt es, die Ähnlichkeit des Gesamtbildes der Geschwindigkeiten in den Eingangsquerschnitten der Systeme festzustellen, damit die kinetische Ähnlichkeit auf der ganzen Strecke gewahrt ist.

Bemerkenswert ist, daß man nur diejenigen ähnlichen Erscheinungen realisieren kann, die in ihren Ähnlichkeitspunkten die gleiche Bedeutung der *Rheinholds*-Zahl aufweisen. Die Systeme, welche dieser Forderung nicht entsprechen, sind dynamisch unausführbar.

Die Gasbewegung in Heizapparaten wird gewöhnlich vom Wärmeumtausch begleitet; infolgedessen verändern sich die Dichte und die Viskosität längs der ganzen Strecke. Darum ist es beim Gebrauch des

[1] *M. Kirpitscheff* und *A. Guchman*, Theorie der Ähnlichkeit. Verhandlungen des Physikalisch-Technischen Staatslaboratoriums. Bd. 8.

Wassers, das als die bequemste Arbeitsflüssigkeit für die Mo gegeben werden kann, nicht möglich, eine absolute Ähnlich Erscheinungen zu erzielen. Man kann sich in den meisten Fä der Realisierung einer annähernden Ähnlichkeit begnügen, t unvollkommenen Genauigkeit. Deshalb haben die Wassermod große Bedeutung bei der Erforschung der hydraulischen Eigen des Heizapparates erlangt. Im Physikalisch-Technischen Labor finden die Methoden der Wassermodelle eine breite Anwendung für die verschiedensten quantitativen Bestimmungen (z. B. des Widerstandes, des Flüssigkeitsverbrauches usw.) als für die Zus stellung des Gesamtbildes der Bewegung.

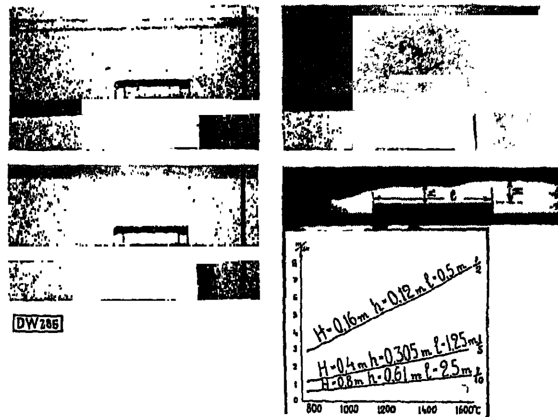


Abb. 1—4.

Als Beispiel dafür kann die Erforschung des Abfließens der heiße über die Schwelle angeführt werden. Der Theorie von Prof. *Grjimailo* gemäß ist es keineswegs unbedingt nötig, daß die heiße beim Abfließen über die Schwelle den Querschnitt der Gaslo rohre nicht vollständig ausfüllen. Auf die Bitte von Prof. *Grjimailo* hat Prof. *Esmann* diese Frage theoretisch untersucht u wiesen, daß der eingelassene Gasfall, d. h. derjenige, welcher inn der ihrer Dichte nach ähnlichen Flüssigkeit vorkommt, sich den Gesetzen wie der freie Wasserfall unterwirft.

Die Schlüsse der hydraulischen Theorie wurden vom Physik Technischen Staatslaboratorium an einem Wassermodell geprüf erwies sich, daß die Formeln von Prof. *Esmann* nur für den Fa Bewegung bei kleinen Bedeutungen der *Rheinholds*-Zahl richtig Abb. 1 stellt die Bewegung des kalten (ca. 10° C) Wassers durc wärmere (ca. 30° C) Wassermenge dar. Die Grenzfläche zwischen kalten und dem warmen Wasser ist mittels der optischen Method *Dworjak*[2] sichtbar gemacht. Aus Abb. 5 kann man leicht erschen

[2] *M. Kirpitscheff* und *M. Michejeff*, Die optische Methode von Prof. *Dworjak* in der Anw zu den Erforschungen der Gasbewegung. Verhandlungen des Physikalisch-Technischen laboratoriums Bd. 6.

der aktive Strom sich mit der passiven Flüssigkeitsmasse nicht vermischt und daß, entsprechend der Theorie, über der Schwelle, der Strom um $^2/_3$ seiner Höhe schmäler wird.

Nach der kritischen Geschwindigkeit verändert sich die Natur der Erscheinung. Die Bewegung an der Grenzfläche weist einen wellenförmigen Charakter auf, die strenge Teilung der Flüssigkeiten wird gestört, und sie fangen an, sich zu vermischen. Abb. 2 und 3, die die Bewegungsveränderung im Laufe von einigen Sekunden darstellen, gestatten uns, über den Charakter der Pulsierungen zu urteilen, die sich an der Grenze der Wasserscheide bemerkbar machen.

Die Modelle erlauben uns nicht nur die einzelnen Striche der Erscheinungen festzustellen, die uns bei der Beobachtung des Musters entgehen, sie können auch für die quantitativen Schlußfolgerungen benutzt werden. Mittels der entsprechenden Rechnungen kann die Gasstromgeschwindig-

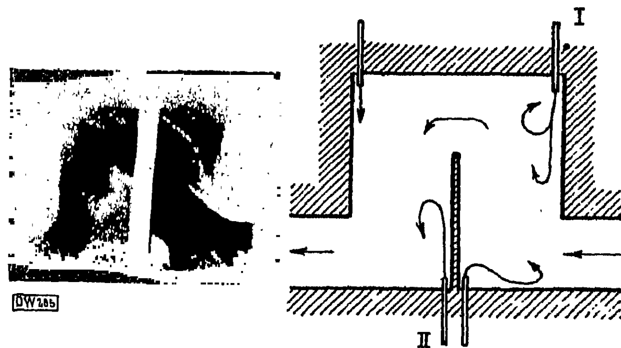


Abb. 5.

keit gefunden werden, die den verschiedenen Temperaturen des heißen und des abgekühlten Gases und den verschiedenen Größen der Gasleitung entspricht. In Abb. 4 sind die Umrechnungen für drei Gasfallgrößen und für die Temperaturen des heißen Gases von 800 bis 1600° gegeben.

Als ein anderes Beispiel kann die Untersuchung der Luftbewegung im Lufteconomiser des Wassermodells betrachtet werden. Diese Arbeit wurde vom Physikalisch-Technischen Staatslaboratorium nach dem Auftrag der Leningrader Metallwerke vollzogen, die eine der Economisertypen als nicht zweckmäßig genug fanden, da bei seiner Untersuchung ein unnormal großer hydraulischer Widerstand konstatiert wurde. Das Modell, das die Ähnlichkeit des Mittelquerschnitts des Economisers voraussetzte, ergab eine höchst ungenügende Füllung des Mittelquerschnitts mit dem Flüssigkeitsstrom. Das an dem Modell beobachtete Bild der Geschwindigkeitsverteilung stimmte mit den auf den Werken vollzogenen unmittelbaren Geschwindigkeitsmessungen in verschiedenen Punkten des Economisers überein.

Abb. 5 stellt die Bewegung des Wassers im Modell dar; das Schema zeigt die Stellen der Farbenzuführung. Wie hieraus zu ersehen ist,

bewegt sich die Farbe aus dem Röhrchen in der dem Hauptstrom der Flüssigkeit entgegengesetzten Richtung und wird von der zuströmenden Flüssigkeit erst dann mitgerissen, wenn sie bis zum Niveau am Eingangsende gesunken ist. Eine ähnliche Erscheinung wird auch beim Ausfließen der Farbe aus dem Röhrchen II beobachtet.

In der rechten oberen Ecke befindet sich ein Stauungsgebiet, wo sich das Wasser langsam nach der Richtung des Uhrzeigers dreht. Ein ähnliches Stauungsgebiet mit der entgegengesetzten Drehrichtung befindet sich auch links an der mittleren Scheidewand.

Dies alles spricht von der höchst unregelmäßigen Bewegung im Economiser, was eine Erhöhung des hydraulischen Widerstandes in dem Economiser und das Fallen seiner Wärmeabgabe hervorruft.

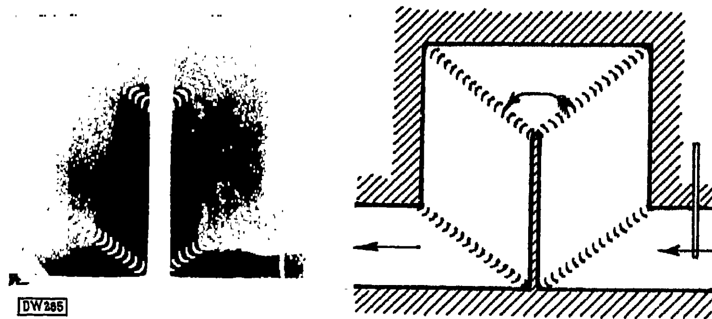


Abb. 6.

Um diese Unregelmäßigkeiten zu entfernen, hat das Laboratorium die Schaufeln von *Prandtl* eingeführt, die für die aerodynamische Röhre eine breite Anwendung finden. Wie man aus Abb. 6 ersehen kann, welche die Wasserbewegung nach der Aufstellung der Schaufeln von *Prandtl* im Modell darstellt, wurde auf diese Weise eine höchst günstige Stromverteilung längs des Economisers erzielt. Infolgedessen erlauben die Modelle nicht nur, das Gesamtbild der Gasbewegung in den Hitzeapparaten festzustellen, sondern weisen in vielen Fällen darauf hin, welche Vervollkommnungen hier vorgeschlagen werden könnten.

Summary

The author shows that tests carried out on models not only allow of the motion of gases in heating apparatus being determined, but that in many cases they are capable of showing how improvements can be effected in this connection.

United States of America

Scientific Research in the United States on Gasoline Engines

U. S. Bureau of Standards, American Society of Mechanical Engineers

H. C. Dickinson

While the early art of building gasoline engines in the United States was an importation from Europe, as was the adaptation of these engines to motor vehicle propulsion, the development of that art has for the past decade or more been influenced only in a secondary measure by European practice.

In the earlier stages of development the design of such power plants was distinctly an art, rather than a science. It was in much the same stage of development as that of the steam engine in the early part of the 19th century. Notwithstanding the valuable contributions from the engineering and scientific side which had been made by a number of European engineers and scientists to our knowledge of the mechanics and the thermodynamics of the gas and gasoline engine, most American designers in the earlier years of the automobile industry depended largely upon the process of trial and error, and the long-suffering public gladly paid well for many of the errors, because at worst they got some degree of individual transportation.

It was not until the motor vehicle was a well established element in our national life that scientific research began to be an important factor in gasoline engine design. Perhaps the largest single laboratory devoted to scientific research on the subject is that of the General Motors Corporation at Detroit. Since the establishment of this laboratory most of the other large manufacturing companies have established laboratories in which scientific research is undertaken along various lines, although the major problems of all industrial laboratories are necessarily experimental rather than scientific.

Outside the industry proper the sources of scientific data based on research are the universities and technical schools and the Government laboratories. The Massachusetts Institute of Technology, Purdue University, University of Illinois, University of Michigan and others among the educational institutions, and the Army, the Navy, the National Advisory Committee for Aeronautics and the Bureau of Standards, among Government laboratories, have made important contri-

butions to scientific knowledge concerning gasoline engines in the past ten years.

The subject of this paper, however, is necessarily restricted mainly to what may be termed *current* research.

The development work incident to the production of a new model of engine or vehicle, while not primarily of a nature to be classed as scientific research, often may include some research of a truly scientific nature. In general, however, information on such undertakings is difficult at times and often is quite impossible to obtain.

In view of this situation, no attempt will be made to cover specific researches carried on directly in connection with design and development, except in so far as they have come to the author's attention and results have been released.

Engine Design[1]

During the past three or four years, due perhaps to the increased extent of satisfactory roads and perhaps to the trend of advertising and sales pressure, there has been a considerable increase in the power-weight ratio and the maximum speed of motor vehicles of all classes. To meet the increased demands there has been a decided trend in design of gasoline engines toward greater power output for a given cylinder displacement accompanied by increased engine speeds and higher standards of quietness in operation. These developments have necessitated much of what might be termed empirical research on such subjects as:

a. Increasing volumetric efficiency with considerable consideration of supercharging, and the use of superchargers for racing purposes;

Increased compression ratio with corresponding demands for fuels which will permit higher compression, and incidental studies of fuel characteristics;

c. Increased thermal efficiency which, however, has led to no outstanding results; and

d. Increases in mechanical efficiency. The latter might rather be discussed as maintenance of mechanical efficiency at higher rotative speeds.

The outstanding result of these general researches, or design trends, has been increased engine speeds with heavier and stiffer crankshafts, in many cases lighter reciprocating parts, relative higher volumetric efficiency, and increased compression ratios requiring fuels of better quality as regards knock characteristics. There has been also a careful study of the effect of cylinder head design on power, smoothness and knocking characteristics of engines.

Crankshaft Design

The demands for higher speeds and less engine vibration have naturally led to research on the subject of crankshaft design. The study

[1] *T. J. Litle, Jr.*, Journal, Society of Automotive Engineers, January 1929, Vol. 24, No. 1; p. 36.

of crankshaft distortion has been studied by two experimenters of the Ohio State University[2].

Shafts of various sizes and designs, all fitted to a single crankcase, were mounted and subjected to various static torsional loads. The deflections produced at the various throws by loads applied at different points were observed by optical methods. The results were analyzed and reduced to general formulae for computing the stiffness of crankshafts.

Valve Springs

Higher engine speeds have also resulted in some research on the subject of valve springs, mainly from the point of view of eliminating valve spring surges.

A careful study of valve spring behavior was conducted by two engineers of the Packard Motor Car Company[3]. An experimental cam and valve spring device was designed and the spring behavior studied by viewing through a stroboscopic disc, permitting the observation of spring surges at any point in the cycle. As a result of these observations the authors show that analysis of static spring deflections is entirely inadequate, and a careful study of the possible harmonic periods of the spring is essential. Such analyses are made and the results checked by observation, resulting in the design of a dual type of valve spring which is said to be substantially free from failure.

Two engineers of the White Motor Company[4] have made a careful experimental study of valve spring behavior by the use of several devices including a point to point indicator and a photographic curve plotting indicator which have yielded a series of very valuable records of valve spring behavior. The results are carefully analyzed and put in shape for application to problems of valve spring design, with illustrative examples showing a computed analysis of valve spring harmonics.

Two engineers of the Cleveland Wire Spring Company[5] have also contributed to this subject. An electric telemeter was used for this study in connection with an oscillograph, by means of which curves were drawn showing the force exerted by the valve spring throughout the cycle.

These authors have done less in the way of mathematical analysis than those mentioned above, but have drawn the following conclusions:

"Through the investigations thus far conducted by means of the electric telemeter, we are able to form several conclusions as to the cause of surges, the effect of surges on the behavior of springs, and the influence of surge on the design of the springs.

"Where the cause of surge is concerned, the telemeter has proved to be a valuable instrument, as it furnishes a means for checking the

[2] *C. A. Norman* and *K. W. Stinson*, Journal, Society of Automotive Engineers, February 1928, Vol. 23, No. 1; p. 83.

[3] *A. Moorhouse* and *W. R. Griswold*, Journal, Society of Automotive Engineers, November 1928, Vol. 23, No. 5; p. 461.

[4] *Ferdinand Jehle* and *W. R. Spiller*, Journal, Society of Automotive Engineers, February 1929, Vol. 24, No. 2; p. 133.

[5] *W. T. Donkin* and *H. H. Clark*, Journal, Society of Automotive Engineers, March 1929, Vol. 24, No. 3; p. 315.

theory that surge is a function of the amplitude of the harmonics of the complete valve-lift curve. This is important because it enables us to work toward the elimination of surge through cam design as well as spring design.

"The telemeter enables us to demonstrate that, where surge is encountered, the stress conditions are realized only at low engine speeds. At high speeds, the stresses are much greater than the calculated values, and the rate of the stress cycle is many times greater than at low engine speeds.

"The telemeter enables us to draw the following conclusions in regard to the design of valve springs:

"1. Low-frequency springs are to be avoided because, at engine speeds within the driving range, the springs tend to come into resonance when excited by the lower order of harmonics of the complete valve-lift curve; and the lower harmonics have very appreciable amplitudes, as a rule.

"2. High-frequency springs are to be desired because, within the same driving range, the resonance points are due to the influence of the higher harmonics, which usually have much less amplitude than the lower harmonics.

"3. Springs having a continuously variable pitch are valuable in minimizing the effects of surge. It is important that a few of the active coils should close up solid when the valve is open. The effect of the change in the number of active coils is to alter the frequency of the spring continuously throughout the lift of the valve. Thus, resonant conditions are prevented by interference in the wave motion, although the surge amplitude at high speeds may have certain points of minima and maxima.

"4. High-frequency variable-pitch springs are preferable to low-frequency variable-pitch springs.

"5. As a rule, if more than one to three coils of a variable-pitch spring are closed as the valve lifts, the total number of active coils must be rather large. This will cause the spring to have a low frequency when it is on the base-line portion of the valve-lift curve. The lower harmonics will cause the spring to vibrate badly during this portion of its cycle, even though severe resonant points are eliminated."

Valve Timing

Prof. *C. F. Taylor*, Massachusetts Institute of Technology, reported the results of studies of this subject[6].

"It has long been considered possible to improve the performance of a four cycle engine by clearing the burned gases out of the compression space and replacing them with combustible mixture. When a supercharger is attached to an engine this problem becomes merely one of valve timing since it is possible to allow the intake and exhaust valves to remain open at the same time at or near top center on the end of the exhaust stroke and the beginning of the suction stroke. With this in view the N. A. C. A. Universal test engine in use at the Massachusetts

[6] Private Communication.

Institute of Technology, was run supercharged to various pressures and with various amounts of overlap of the intake and exhaust valves from zero overlap (exhaust closing on top center and intake opening on top center) to 100° overlap, 50° either side of top center. This was the maximum overlap possible with this engine due to interference between the inclined valves. The results of the preliminary tests at 6 inches of mercury supercharging pressure show a steady increase from zero overlap to 100° overlap, the maximum increase being 16% in the brake mean effective pressure. The 'best power' specific fuel consumption shows an increase of 14% indicating that there is some loss of fuel out the exhaust valve. At 12 inches of mercury pressure the results show the same tendency. The volumetric efficiency of the engine also showed an increase commensurate with the increase in mean effective pressure. These results were obtained at 1500 r.p.m. It is reasonable to suppose that at higher rotative speeds the effect would be less pronounced since the gas would have a shorter period of time in which to scavenge the clearance space. Tests are to be conducted to determine whether this overlap will increase the specific fuel consumption when the load has been reduced and it is reasonable to suppose when the intake pressure is reduced to atmospheric, that there will be no loss of fuel out of the exhaust valve, and consequently it is not expected that the part throttle performance of the engine will be materially changed. It is interesting to note that the engine idled very satisfactorily at 100° overlap. It was, however, fitted with a long exhaust pipe which prevented the admission of fresh air through the exhaust, as might happen with an aircraft engine with short exhaust pipes. The admission of fresh air would materially change the mixture ratio in the cylinder and require a somewhat different carburetor adjustment."

Engine Cooling

Much interest has been shown recently in the possibility of using liquids of higher boiling point than that of water for the cooling medium, particularly in aircraft engines. The results of a study of the possibility of ethylene glycol as a cooling medium in liquid cooled aircraft engines are given by *Gerhardt W. Frank*[7]. This paper gives the results of test stand and flight tests of a Curtiss D-12 engine and a Packard V-1570 engine as compared with the performance of these engines when cooled with water.

The conclusions reached from their purely experimental results are somewhat as follows:

"Modern water-cooled engines with slight changes can be operated successfully and more efficiently at cooling liquid temperature of 300° F (150° C).

"Operation at this temperature entails a loss of about 3% in horsepower, which is much more than offset by reduction in weight and head resistance of the radiator."

[7] Journal, Society of Automotive Engineers, October 1929, Vol. 25, No. 4; p. 829.

On the same subject Prof. *C. F. Taylor* of the Massachusetts Institute of Technology, has studied the relative behavior of two types of cylinder cooling[8].

"The object of this investigation was to compare the performance of two cylinders of exactly similar design except that one was air-cooled and one water-cooled. This comparison was made over a range of operating conditions involving a number of different speeds and loads and two different compression ratios.

"Two Wright J-5 cylinders were used in this work. One of these was unmodified and was used for the air-cooling tests, while the other one was supplied with a copper water jacket which completely surrounded the cylinder and valve ports. The cooling fins were not removed but were allowed to remain submerged in the jacket water.

"All tests were made with the cylinders mounted on a single cylinder crankcase and the engine connected to an electric cradle dynamometer. Except for the determinations of the detonation characteristics a non-detonating fuel was used in all cases. A suitable blower was used to cool the air-cooled cylinder, the air speed being about 80 miles per hour.

"The test covered the following range of conditions: 1. Full throttle performance at speeds ranging from 1200 to 2200 r.p.m. and at compression ratios of 5.5 and 6.5. 2. Half throttle performance at speeds ranging from 1200 to 2000 r.p.m. and at compression ratios of 5.5 to 6.5. 3. Tests to determine the relative characteristics with regard to detonation.

"In general, the method of conducting each run was to set the speed and throttle to the proper position and using a normal mixture ratio, to vary the spark advance until the setting for maximum power was determined. When the best spark advance had been determined the mixture ratio was varied from the leanest which would give satisfactory operation to a mixture considerably richer than that giving maximum power.

"Full throttle was defined as the condition in which the engine throttle was wide open. Half throttle was defined as the condition where a fixed, round orifice was placed in the intake manifold at the carburetor flange, the size of the orifice being such as to give approximately half the maximum power. These were the only two throttle positions used.

"An examination of the curves showing the results of this research indicates clearly that the water-cooled cylinder gave distinctly better performance than the air-cooled cylinder in every respect except that of maximum economy at part load. It is interesting to note that the performance of the water-cooled cylinder with a compression ratio of 5.5 was better than that of the air-cooled cylinder with the compression ratio of 6.5, both in regard to power and fuel economy at full throttle, even though both were used with a non-detonating fuel."

Heat Transfer

The design of fins for air-cooled engine cylinders has been largely an empirical matter. The practice is to try various sizes, lengths and

[8] Private Communication.

distributions of cooling fins until a reasonably satisfactory result is reached. There are, however, certain basic principles involved in such a design which, if fully understood, might make for both economy of weight and better cooling of the cylinders.

Obviously there should be some relationship between the weight of metal employed in cooling fins and the amount of heat dissipated, depending upon the length, thickness and spacing of the fins. Recently a search has been undertaken at the Massachusetts Institute of Technology under Prof. *C. F. Taylor*[9] in which a study has been made of the optimum length and spacing of cooling fins on an experimental test plate.

In this program the test specimens consist of flat plates with fins of copper extending normal to the surface of the plate. The plate is heated electrically with provision for controlling and correcting for all loss of heat which does not take place through the fins. By this means the heat loss can be accurately measured.

The test plate is subjected to air flowing parallel to its surface and to the direction of the straight fins and the relation between air, speed and heat flow determined.

The program in hand contemplates a study of all practicable fin sizes and distributions on a flat plate of this sort including a wide variety of lengths of plate in the direction of the air flow.

Carburetion and Manifolding

The wider use of eight cylinder in line engines has resulted in much difficulty with the design of intake manifolds. Mr. *F. C. Mock*[10] furnishes the results of comparisons between single and dual carburetor and manifold systems on a variety of eight cylinder in line and some eight cylinder V. engines.

In the majority of instances cited, improved power and engine performance is recorded in the intermediate speed range by the use of dual carburetion. The probable causes of this are discussed at some length on the basis of pressure measurements made in the manifold during the engine operation, and analysis of the manifold surge velocities as compared with the velocity of sound. The author concludes that good engine performance can be secured readily in eight cylinder in line engines by the use of dual carburetors. Some difficulty is experienced in setting of throttle and idling jets on the two carburetors to secure smooth operation.

Cold Carburetion

Cold carburetion is a term applied to a method of supplying fuel to the engine, in which the distribution takes place largely in the liquid form. A study of the problem has been described in a paper by *Carl H. Kindl*[11].

---

[9] Technical Note No. 331 of the National Advisory Committee for Aeronautics (January 1930).
[10] Journal Society Automotive Engineers, June, 1929; Vol. 24, No. 6; p. 593.
[11] Journal Society Automotive Engineers, February 1930, Vol. 26, No. 2; p. 159.

A system of this kind offers some important advantages if it can be made effective. The author has made a very careful analysis of the problem, studying first the performance of a single cylinder engine, then of multi-cylinder engines. Glass manifolds were used with a neon lamp stroboscope to examine the behavior of the fuel; study was made of principles rather than of details. It was concluded that the system of cold carburetion presents some unsolved difficulties, but offers advantages of such importance that it may soon become commercial practice. Among the advantages to be gained are increased power, decreased detonation, the use of somewhat less volatile fuels, and decreased time required to reach a satisfactory operating temperature.

Down Draft Carburetion

So long as gasoline was fed to the carburetor by gravity from a vacuum tank or a gravity supply tank, as was almost the universal custom in the United States up to a few years ago, there was no practicable means of using a down draft carburetor in which the float bowl must be considerably above the engine intake. With the substitution of the fuel pump as a direct means of fuel feed, the limitation as to float bowl level has been removed, and much interest has been shown in the development of down draft carburetors.

Acceleration performance tests have been made by Bureau of Standards engineers, both in the Bureau's laboratories and at the laboratories of various automobile companies, in which the performance of up and down draft manifolds were determined on the same engine[12].

With an up draft manifold, if the supplied mixture or accelerating charge is rich enough to give reasonably high acceleration from a low initial speed, there is a decided loss of acceleration at higher speeds, due to blowing off of liquid fuel which has accumulated on the manifold during the low speed part of the acceleration. If the mixture strength be reduced to avoid this later over richness, the low speed acceleration suffers.

With a down draft carburetor, however, no evidence of high speed loading has been found. From the tests thus far made, it appears that with proper proportioning of the quantity and rate of injection of the accelerating charge, it should be possible to realize practically maximum acceleration over the entire speed range. Furthermore, the maximum available acceleration is increased by reason of the fact that with down draft carburetion it is possible to use somewhat larger induction systems and less hot spotting.

Ignition

Comparatively little interest has been shown during the past few years in ignition and ignition systems other than in the improvements in design necessary to meet the more exacting conditions of higher engine speeds and higher compression ratios. A discussion of this phase of the subject is given by *J. T. Fitzsimmons*[13].

---

[12] *D. B. Brooks* and *C. S. Bruce*, Journal Society Automotive Engineers, April 1930, Vol. 26, No. 4; p. 471.

[13] Journal Society Automotive Engineers, March 1929, Vol. 24, No. 3; p. 306.

Another phase of this problem has been the subject of some as yet unpublished research at the U. S. Bureau of Standards by Dr. *M.F. Peters* and associates. Heretofore there has been very little effort to measure what might be called the quantity of chemical reaction taking place, or in other words, the mass of gas which receives sufficient energy from the spark to combine as the character of the spark is changed. It seems reasonable to assume that if one spark is more effective than another, the most effective spark should activate, or impart sufficient amounts of energy to a greater number of molecules of gas thereby causing a greater mass of gas to combine.

To determine the mass of gases activated by a spark discharge it is necessary to arrange experimental conditions so that the molecules which are not activated do not combine. This is possible because at pressures below 3 cm. of mercury flame propagation does not take place, and combination takes place only by collision of activated molecules. The gases used in this work were two volumes of hydrogen to one volume of oxygen.

The results show that with constant energy the mass of gases which combine is increased approximately 400% as the capacitance component of the spark is increased at the expense of the inductance component. It also throws some light upon the use of the auxiliary series spark gap. If the capacitance of the circuit is small, the use of the series gap decreases the mass of gases which combine, but if a small condenser is connected across the magneto, the mass of gas ignited is increased by the series gap.

A single comparison between a spark coil and magneto shows at low speeds that the spark from the coil ignites the greater mass of gas. Thus the method seems to offer a means for determining the most suitable spark, and to assist in the selection of an ignition system for a particular purpose. The effect of changes in character of the spark on engine performance is being studied.

Effects of Altitude

Among the important contributions to Aviation Engine Research must be mentioned those of the Altitude Laboratory of the United States Bureau of Standards at Washington, D. C. This laboratory, begun in August, 1917, has been constantly improved and enlarged. It is equipped with exhaust pumps and an air cooling system which make possible the testing of modern water-cooled aviation engine supercharged under temperature and pressure conditions existing at altitudes up to 26,000 feet (8000 meters) and unsupercharged to 31,000 feet (9500 meters).

The temperatures of the oil, water and air and the pressures at the carburetor entrance at the exhaust ports and surrounding the engine can be accurately measured and controlled; and the quantities of air, gasoline, oil and both jacket and exhaust cooling water can be measured. Thus complete heat balances are obtained.

Another feature of importance is the ability to control accurately the temperature and the humidity of the air. For this purpose the air is cooled to a low temperature, $-40°$ C, if necessary, and is passed through a settling chamber and system of screens for separating snow. It is then brought to the desired temperature by being forced over a series of electric heating grids. These conditions can be maintained when testing an engine which develops 400 or 500 brake horsepower at sea level and requires nearly 1,000 cubic feet of air (Standard condition of temperature and pressure) per minute ideally supercharged at 25,000 feet altitude.

Power is measured by means of a 300 horsepower electric dynamometer to which has been added a water brake so that loads up to 750 horsepower can be handled.

Altitude Chamber

Early work in the altitude chamber was devoted principally to performance tests of engines, tests of fuels, and a study of the variation of power with altitude. From the latter, it was found that indicated power varied linearly with air pressure up to 25,000 feet altitude.

Since 1924 the principal part of the work has been on the characteristics of superchargers and their effect on engine performance. This study included the performance of engines supercharged "ideally", a condition readily realized here by admitting air to the engine intake under pressure corresponding to sea level or any desired altitude, while maintaining the engine surroundings and exhaust at pressures corresponding to any altitudes. From the results of these tests it is possible to calculate engine performance with any supercharger of known characteristics.

Tests also have been made with a Curtiss D–12 engine to determine the effect of various carburetor entrance air temperatures on power at full throttle over a range from $-20°$ C. to $+100°$ C. It was found that the inverse square root relation proposed by *S. W. Sparrow* of the Bureau of Standards[14] could be applied for correcting indicated horsepower over this range with an error of less than $2^1/_2$% of the horsepower; also that the empirical correction factor proposed in 1918 by *Dickinson & James*[15], can be applied to brake horsepower with an error of less than 2%.

The Altitude Laboratory is now engaged in the study of the performance of a Curtiss D–12 water cooled engine equipped with a Roots type gear driven supercharger which has a rated altitude of 4,000 to 6,500 feet or of 15,000 to 18,000 feet according to engine speed and the gear ratio employed.

Phenomena of Combustion

An important research project has to do with the rate of inflammation of explosive gas mixtures with a view to the better understanding of

[14] National Advisory Committee for Aeronautics Technical Report No. 190.
[15] National Advisory Committee for Aeronautics Technical Report No. 45.

the behavior of the fuel-air mixture in engine cylinders. When the explosive reaction takes place at constant volume, or at a changing arbitrary volume as in an engine cylinder, the progressive increments of pressure to which the unburned gases are subjected during their transformation take place at such a rate that simultaneous quantitative measurement of pressure and rate of propagation cannot be made.

The method employed by Prof. *F. W. Stevens* at the Bureau of Standards is to make observations at constant pressure varying both the temperature and the pressure for different observations. For this purpose the explosive gases are enclosed in a soap bubble and fired by a spark at the center. The rate of flame propagation is measured by photographing on a moving film, a slit across the diameter of the soap bubble. For observations at pressure other than atmospheric the soap bubble, as a constant pressure bomb, is enclosed in a large spherical container the volume of which is large compared to that of the bomb (or bubble) so that there is no significant variation in pressure.

Studies have also been made of explosion figures obtained with transparent constant volume containers of different sizes and shapes so arranged as to preserve the symmetry of propagation not only of the reaction zone but of sound and impulse waves originating at the same points with it. The value of such figures lies in the fact that the continuous photographs so obtained reveal both the progress of the reaction zone and the course of the impulse waves through the gases. The main object in securing them was to test qualitative agreement between the quantitative results obtained on the same reaction at different (constant) pressures and the effect of increasing pressure on the reaction during its progress. The figures obtained bear out the pressure relations found in the study of the reaction at different (constant) pressures and also clearly demonstrate the futility of generalizations concerning reaction rates based on rates of movement of the reaction zone as observed in space when the mass movement of the gases carrying it is indeterminate.

Although all the studies of the gaseous explosive reaction have been confined to its thermal (normal burning) explosive form, the study of the effect of pressure on this form of reaction will lead to investigation of the form designated as the explosive wave which is characterized by excessive pressures and temperatures within the reaction zone and by a very high rate of propagation.

The results that have been obtained show that the rate of propagation of the reaction zone within the explosive gases is constant and independent of pressure over the wide range of pressures studied. This result would mean that the rate of molecular transformation (the rate and amount of energy liberated) in a gaseous explosive mixture is proportional in all cases to the pressure at which the reaction takes place. The only mechanism based on a molecular (more probably, an ionic) concept that will satisfy this result is a process of bi-molecular (bi-ionic) unions (*Nernst*, Theoret. Chem. 10th edition, p. 652, — or by any other recent treatise).

Conclusion

In conclusion it may be stated that the past ten years have witnessed a remarkable increase in the energy devoted to scientific research as compared with purely development work on gasoline engines. Additional laboratories both educational, industrial and governmental, have been giving increasing attention to this problem. Even more active increase may be noted in the research facilities devoted to allied problems of fuels, lubrication and accessories, which are an essential part of the industrial development based on gasoline power.

The gasoline engine in the United States has reached a stage of development such that further improvements or revolutionary changes may be expected mainly as a result of further scientific research, either as to the power plant itself or its essentials of fuel, lubricants and accessories.

Zusammenfassung

Die Entwicklung des Benzinmotors in den Vereinigten Staaten ist bisher meist empirisch, weniger mittels wissenschaftlichen Untersuchungen, vorgegangen. Dieses trifft fast ebenso für den Flug- als für den Fahrzeugmotor und für ortsfeste Motoren zu.

Die Untersuchungen, die man als wissenschaftlich bezeichnen kann, behandeln hauptsächlich verschiedenartige Gegenstände, die mit Entwurf oder Betrieb des Benzinmotors verknüpft sind. Einige dieser Probleme werden hier behandelt, unter anderen folgende:

Die Zündungsgeschwindigkeit bei unveränderlichem Drucke in explosiblen Gasgemischen hat man über ein ausgedehntes Druckgebiet gemessen, zwecks Ableitung der Gesetzmäßigkeiten der Reaktion im Motorzylinder.

Beobachtung der Bewegung der Ventilfeder sowie theoretische Untersuchungen führen zur Kenntnis der Verhältnisse, die das Versagen der Federn durch Eigenschwingungen bewirken.

Die Einwirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Leistungsfähigkeit und den allgemeinen Wirkungsgrad des Motors sowie die Einwirkung der Lufttemperatur wurden experimentell und theoretisch untersucht.

Auf dem Gebiet des Flugmotors, der in rascher Entwicklung begriffen ist, hat man besondere Aufmerksamkeit auf den Kompressormotor verwendet und Versuche bei idealer Kompression sowie mit angepaßten Kompressoren durchgeführt.

Die Zündung ist Gegenstand besonderer Studien mit Behandlung der Erscheinungen während des Funkenschlages.

Als Beitrag zur Kenntnis des luftgekühlten Flugmotors untersucht man den Wärmeübertrag von Metallflächen an die Luft unter genau bestimmten Verhältnissen im Laboratorium.

Die vorgenannten und einige andere Fragen werden zum Teil ausführlich besprochen.

Norwegen

Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflußmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen

Norwegisches Nationalkomitee

Ing. J. Aastad und Ing. R. Sögnen

Die relative Verdünnungsmethode

Bei der Bestimmung von Abflußmengen hat man bisher wesentlich die mechanische Meßmethode benutzt, welche sich auf die Geschwindigkeitsmessung eines hydrometrischen Flügels gründet. Diese Methode gibt sehr gute Resultate an Stellen, wo man einen regelmäßigen Meßquerschnitt mit gleichmäßigen und hinlänglich großen Wassergeschwindigkeiten hat. Oft ist es aber schwer, Meßstellen zu finden, welche diese Bedingungen erfüllen, und die Anwendung der mechanischen Meßmethode ist insofern begrenzt, als sie nicht immer mit Vorteil benutzt werden kann ohne besondere Neuanlagen, wie der Bau von Meßwehren, Ausbesserung des Flußbettes usw. — was alles kostspielig wird. Dieser Nachteil hat den Bedarf einer neuen Methode geschaffen, welche die mechanische ergänzen kann. Die chemische Salzmethode, welche in den letzten Jahren in einzelnen Ländern benutzt worden ist, kommt dem genannten Bedarf entgegen. Die letztere Methode besteht bekanntlich hauptsächlich darin, daß die Salzlösung der Wassermenge zugeführt wird mit einer konstanten Menge pro Zeiteinheit. Die Abflußmenge wird dann durch Titrierung der während der Messungen genommenen Proben der benutzten Salzlösung sowie der verdünnten Salzlösung bei homogener Mischung und des natürlichen Flußwassers bestimmt. Für die Bestimmung der Abflußmenge ist man also auf die Benutzung eines Laboratoriums angewiesen.

Bei Versuchen nach dieser Methode haben wir eine Wheatstone-Kohlrausch-Meßbrücke für Wechselstrom benutzt, um den richtigen Zeitpunkt für das Ausnehmen der Probe der verdünnten Salzlösung zu bestimmen. Diese Versuche haben uns inzwischen auf eine andere Spur geführt, die in einer ganz neuen *physikalischen* Meßmethode resultiert haben, welche nicht durch eine konstante Zusetzung einer Salzlösung bedingt ist und welche die direkte Bestimmung der Abflußmenge an Ort und Stelle möglich macht. Diese Methode haben wir

Die relative Verdünnungsmethode

genannt. Diese Methode gründet sich auf die physikalischen Gesetze für das Leitungsvermögen von Salzlösungen und auf ein bestimmtes

Verfahren für die Anwendung von relativen Werten. Bekanntlich vergrößert sich das molekulare Leitungsvermögen der Salzlösungen mit dem Grade der Verdünnung, bis diese so groß wird, daß das Salz vollständig dissoziiert ist, wonach das Leitungsvermögen nicht mehr wächst. Diese Grenze liegt, nach Angaben, ungefähr bei einem Verdünnungsgrad von 1 g-Molekül Natriumchlorid = 58,46 g NaCl in 5000 l reinem Wasser, was einem Verdünnungsgrad von 0,0000117 entspricht oder einem Salzgehalt von 0,0117 ‰.

Das natürliche Wasser ist nicht rein, enthält aber mehr oder weniger gelöste Bestandteile. So enthält Süßwasser eine Lösung von Salzen (Elektrolyte) über die Grenze hinaus, bei welcher sich das Leitungsvermögen nicht ändert. Man ist daher vollständig sicher, daß eine kleine Zusetzung eines Salzes an das Flußwasser — homogene Mischung vorausgesetzt — eine solche Veränderung des Leitungsvermögens bewirken muß, daß die Abflußmenge dadurch bestimmt werden kann.

In den folgenden Ausführungen werden die nachstehenden Bezeichnungen benutzt:

q = die Abflußmenge in l/s.
Q = gesamte Abflußmenge in Liter während der Beobachtungszeit.
S = die Salzlösung in Liter zur Bestimmung des Abflusses.
s = variabler Teil der benutzten Salzlösung.
n = Beobachtungszeit in Sekunden.
m = Injektionszeit in Sekunden.
f = relativer Verdünnungsgrad.
F = mittlerer relativer Verdünnungsgrad.
A = Flächeninhalt des Verdünnungsgraddiagramms.
V = Wassermenge in Liter für die Bestimmung der Normalkurve.
c = Salzlösung in Kubikzentimetern für die Bestimmung der Normalkurve.
R = Widerstand in Ohm.
K = eine Konstante für die Normalkurve.
t = Temperatur.
α = die Temperaturkonstante der Elektrode.
x = die aufgesammelte Wassermenge in l/s.

Für die Bestimmung der Abflußmenge nach der relativen Verdünnungsmethode haben wir die folgende Theorie aufgestellt:

Wird eine Abflußmenge von q l/s einer Salzlösung von S l hinzugesetzt mit variabler oder konstanter Menge/Zeiteinheit in einer solchen Weise, daß man an einer Stelle flußabwärts eine homogene Mischung bekommt, dann wird das Wasser an dieser letzten Stelle während eines gewissen Zeitraumes von n s in eine verdünnte Salzlösung umgewandelt worden sein, und in demselben Zeitraume wird die gesamte Abflußmenge $Q = qn$ eine Salzlösung von S l enthalten.

In den verschiedenen Sekunden wird die konstant abfließende Wassermenge q verschiedene Mengen Salzlösung $s_1, s_2 \ldots s_n$ enthalten, und der durchschnittliche Verdünnungsgrad in den entsprechenden Sekunden wird $f_1, f_2 \ldots f_n$ sein. Man bekommt dann

$$f_1 = \frac{s_1}{q}, \quad f_2 = \frac{s_2}{q}, \quad \ldots \quad f_n = \frac{s_n}{q}$$

oder

$$s_1 = q \cdot f_1, \quad s_2 = q \cdot f_2, \quad \ldots \quad s_n = q \cdot f_n .$$

Hier ist

$$\int_0^n s \cdot dn = S = q \cdot \int_0^n f \cdot dn = q \cdot A , \tag{1}$$

wo A der Flächeninhalt eines Diagrammes ist, das dadurch entsteht, daß man in einem Koordinatensystem die jederzeit auftretenden Verdünnungsgrade einzeichnet.

Von der Gleichung (1) findet man die Abflußmenge

$$q = \frac{S}{A} \text{ l/s}, \tag{2}$$

wenn S im Liter angegeben wird, oder da $q \cdot n = Q$ ist, wird die gesamte Abflußmenge in der Zeit, wo die Salzlösung passiert,

$$Q = \frac{n \cdot S}{A} \text{l}. \tag{3}$$

Selbst wenn die Abflußmenge q variabel ist während der Zeit des Versuches, wird dieses das Endergebnis nicht beeinflussen. Man bekommt in diesem Falle die mittlere Abflußmenge oder q_0^n-Mittel $= \frac{S}{A}$ l/s, und es ist diese Abflußmenge, die von Interesse ist.

S ist direkt durch die Menge der benutzten Salzlösung bestimmt, und zur Bestimmung des Verdünnungsgrades haben wir eine sog. *Normalkurve* eingeführt, welche das Leitungsvermögen der benutzten Salzlösung bei verschiedenen Verdünnungsgraden angibt. Der Verdünnungsgrad wird durch das Volumenverhältnis zwischen Salzlösung und natürlichem Wasser bestimmt, und man arbeitet also nur *mit relativen Verdünnungsgraden*. Bei der Einführung des relativen Verdünnungsgrades entgeht man der Schwierigkeit, die benutzte Salzmenge zu bestimmen.

Aus praktischen Rücksichten mißt man den Widerstand anstatt das Leitungsvermögen, indem man mittels einer Wheatstone-Kohlrausch-Meßbrücke für Wechselstrom den Widerstand in einer dazu konstruierten Elektrode bestimmt, welche in die Flüssigkeit getaucht gehalten wird.

Die Normalkurve der betreffenden Salzlösung wird dadurch bestimmt, daß man in einem Behälter den Widerstand der Elektrode bei verschiedenen bekannten relativen Verdünnungsgraden bestimmt. Man muß darauf aufmerksam sein, daß der Widerstand der Elektrode im Behälter nicht derselbe ist wie der Widerstand der Elektrode an der Meßstelle bei entsprechenden Verdünnungsgraden, welcher sich auf die Widerstandskapazität des Behälters gründet. Diese Widerstandskapazität ist das Verhältnis zwischen dem Widerstand im Behälter und dem Widerstand an der Meßstelle und muß als Korrektionsfaktor für die im Behälter abgelesenen Widerstände eingeführt werden.

Ist also der Widerstand der Elektrode ohne Salzzusetzung im Behälter = R_b Ohm und an der Meßstelle R_0 Ohm, dann wird die Widerstandskapazität $\frac{R_b}{R_0}$, und alle Widerstände, die im Behälter gemessen werden, müssen mit dieser Verhältniszahl dividiert werden, um in Übereinstimmung mit der an der Meßstelle gemessenen Widerstände zu kommen. Um die Normalkurve zu bestimmen, wird in den Behälter ein bekanntes Volumen V l natürlichen Wassers von der Meßstelle eingefüllt, und der Widerstand R_b wird gemessen.

Mit einer Meßpipette werden Zusätze gemacht von verschiedenen Mengen der Salzlösung, welche zur Messung der Abflußmenge benutzt werden soll. Mit einem Zusatz von c cm³ Salzlösung zu V l Wasser bekommt man ein Verdünnungsverhältnis $f_c = \frac{c}{1000} V$, und der Widerstand der Elektrode bei diesem Verdünnungsgrad wird zu R_c abgelesen. Weil die Normalkurve das ganze Intervall von Verdünnungsgraden umfassen muß, welche während der Wassermessung auftreten, muß man mit ganz kleinen Zusätzen $c < 1$ cm³ anfangen und nach und nach diese steigern, bis man sicher ist, daß die Kurve das betreffende Intervall vollständig deckt.

Bei einer Wassermessung beträgt die benutzte Salzlösung einen kleinen Bruchteil der Abflußmenge. Die auftretenden Verdünnungsgrade werden daher auch sehr klein. Es ist folglich nur ein ganz kleiner Teil der Normalkurve, welcher zur Anwendung kommt. Auf Grundlage einer Reihe von Versuchen hat man gefunden, daß die Normalkurve binnen gewisser Grenzen einem mathematischen Gesetz folgt, nämlich: Die Flächeninhalte der Rechtecke, welche von den Koordinaten der Kurve gebildet werden, d. h. das Produkt von relativem Verdünnungsgrad und Widerstand, wächst im Verhältnis zum abnehmenden Widerstand.

Bei verschiedenen Zusätzen, 0 bis c cm³ der benutzten Salzlösung, bekommt man bekannte relative Verdünnungsgrade f_0 bis f_c. Die entsprechenden Widerstände R_b bis R_c werden bestimmt, und es ist dann mit Rücksicht auf das Gesagte:

$$\frac{R_c \cdot f_c - R_b \cdot f_0}{R_b - R_c} = \text{konstant}$$

oder, da $R_b \cdot f_0 = 0$ ist,

$$\frac{R_c \cdot f_c}{R_b - R_c} = \text{konstant.}$$

Für einen beliebigen Punkt der Kurve (R', f) hat man

$$\frac{R' \cdot f}{R_b - R} = \frac{R_c \cdot f_c}{R_b - R_c}$$

oder, mit der Widerstandskapazität des Behälters $\frac{R_b}{R_0}$ korrigiert,

$$\frac{R \cdot f}{R_0 - R} = \frac{R_c f_c}{R_b - R_c}, \quad \text{wenn} \quad \frac{R' \cdot R_0}{R_b} = R \text{ an der Meßstelle,}$$

wovon

$$f = \frac{R_c \cdot f_c(R_0 - R)}{R(R_b - R_c)},$$

oder da

$$f_c = \frac{c}{1000 \cdot V}, \quad f = \frac{R_c(R_0 - R) \cdot c}{R(R_b - R_c) 1000 \cdot V}. \tag{4}$$

Aus dieser Gleichung geht hervor, daß, wenn R_0 und R_b bestimmt sind, es genügt, den Widerstand R_c abzulesen bei einem einzelnen Zusatz c cm^3, um den Verdünnungsgrad f bei einem beliebigen Widerstand R zu bestimmen. Dieses ist selbstverständlich ein großer Vorteil, indem es ziemlich schwierig sein kann, die vielen kleinen Zusätze an Ort und Stelle mit dem genügenden Genauigkeitsgrad vorzunehmen.

Wird in der oben angeführten Gleichung (4) die Konstante

$$\frac{R_c \cdot c}{(R_b - R_c) 1000 \cdot V} = K \tag{5}$$

eingesetzt, bekommt man

$$f = \frac{R_0 - R}{R} \cdot K = \left(\frac{R_0}{R} - 1\right) K. \tag{6}$$

Dieses ist die Asymptotengleichung einer gleichseitigen Hyperbel, deren Mittelpunkt die Koordinaten $[0, (-K)]$ im benutzten Achssystem hat. Die Größe K ändert sich bei den verschiedenen Normalkurven mit der Stärke der benutzten Salzlösung und gibt insofern einen Ausdruck für diese. R_0 ändert sich mit der Temperatur und der Art des Wassers.

Weil der Widerstand sich viel mit der Temperatur ändert, müssen Berichtigungen eingeführt werden, wenn das Wasser im Behälter die Temperatur während der Bestimmung der Normalkurve ändert. Es müssen dann genaue Temperaturmessungen während der Beobachtung von R_b und R_c gemacht werden, wonach diese Widerstände im Verhältnis zueinander korrigiert werden mittels der benutzten Temperaturkurve der Elektrode.

Versuche zeigen, daß dieser Kurve eine Hyperbel nach folgender Formel folgt:

$$R_{t_1} = R_{t_2} \frac{1 + \alpha \cdot t_2}{1 + \alpha \cdot t_1} \quad \text{oder} \quad R_{t_1} = R_{t_2} \left(\frac{1 + \alpha' \cdot t_2}{1 + \alpha' \cdot t_1}\right)^2,$$

je nach der Konstruktion der Elektrode, wo R_{t_1} und R_{t_2} die Widerstände in derselben Lösung bei den Temperaturen t_1 und t_2 sind und α und α' Konstanten sind, welche für jede Elektrode bestimmt werden müssen. Wenn man dazu Gelegenheit hat, kann man den Temperaturberichtigungen entgehen dadurch, daß man den Behälter vom Flußwasser umströmen läßt. Was von Temperaturänderungen im Behälter angeführt ist, gilt auch für Temperaturänderungen im Flusse während der Messung. Es spielt aber keine Rolle, ob man verschiedene Tempe-

raturen im Flusse und im Behälter hat, wenn nur beide konstant sind. Vom Temperaturunterschied kann somit abgesehen werden, während die Temperaturänderungen Berichtigungen fordern.

Bis jetzt ist vorausgesetzt worden, daß Wasser von der Meßstelle zur Aufstellung der Normalkurve benutzt wird. Dies ist keine unbedingte Voraussetzung, indem man auch anderes Wasser zu diesem Zweck benutzen kann.

In dem Falle muß man doch erstens den Widerstand R_b im Wasser von der Meßstelle bestimmen und danach den Widerstand in dem Wasser, welches für die Aufstellung der Normalkurve benutzt wird, beide bei demselben Volumen und in demselben Behälter gemessen. Der letztgenannte Widerstand, welcher R_{b_1} genannt wird, wird dann anstatt R_b in der Formel für die Konstante K eingeführt. Es muß ferner K mit der Verhältniszahl $\frac{R_{b_1}}{R_b}$ multipliziert werden, um in Übereinstimmung mit den an der Meßstelle gemessenen Widerständen gebracht zu werden. Bei Temperaturdifferenzen muß doch das Glied $\frac{R_{b_1}}{R_b}$ zu derselben Temperatur korrigiert werden, um das richtige Verhältnis zwischen den Säuregraden der beiden Fälle zu finden.

Es kann von Bedeutung sein, z. B. bei Messungen bei stärkerer Kälte anderes Wasser zu benutzen für die Aufstellung der Normalkurve, da dieser bei solchen Verhältnissen schwer an der Meßstelle bestimmt werden kann.

Die Grenze für die Gültigkeit der Normalkurve als Hyperbel liegt nach unseren Versuchen mit gewöhnlichem norwegischen Flußwasser bei einem absoluten Verdünnungsgrad von 0,00006. Es handelt sich hier um sehr reines Wasser. Enthält das Wasser eine wesentlich größere Menge von Elektrolyten, ist es wahrscheinlich, daß die obengenannte Grenze etwas verrückt werden kann.

Die Auflösbarkeit des Salzes ändert sich nicht sehr mit der auftretenden Temperatur des Wassers und liegt ungefähr bei 36 g Salz zu 100 g Wasser oder ungefähr bei 26 Gewicht-%. Hat man eine Salzlösung, die einigermaßen gesättigt ist, von z. B. 25 Gewicht-% (spez. Gewicht = 1,19), und eine Wassermenge von V l für die Aufstellung der Normalkurve, findet man den maximalen Zusatz c cm³, der nicht überschritten werden darf, durch die Gleichung

$$\frac{1{,}19 \cdot 0{,}25\, c}{1000\, V} \cong 0{,}00006$$

oder $c \lesseqqgtr 0{,}2\ V$, wo c in cm³ angegeben wird und V in l, woraus man bekommt

$$f_c = \frac{c}{1000 \cdot V} = \frac{0{,}2 \cdot V}{1000 \cdot V} = 0{,}0002$$

gleich dem relativen Verdünnungsgrad, welcher nicht überschritten werden darf, wenn eine gesättigte Salzlösung angewendet wird.

Hinzuzufügen ist noch, daß die Normalkurve auch oberhalb der genannten Grenze für $f_c = 0{,}0002$ relativer Verdünnungsgrad mit hinreichender Genauigkeit als eine neue gleichseitige Hyperbel berechnet werden kann, eine Hyperbel, welche den Mittelpunkt $[0, (-K_1)]$ hat. Man muß dann noch ein oder zwei Zusätze von der Salzlösung machen, um die neue Konstante K_1 zu bestimmen. Doch werden die Widerstandsänderungen sehr klein, selbst bei verhältnismäßig großen Zusätzen über $c = 0{,}2\ V$ hinaus. Sie werden so klein, daß die neue Hyperbel nur mit Schwierigkeit mit demselben Genauigkeitsgrad wie die erste Hyperbel bestimmt werden kann. Es empfiehlt sich daher, bei Wassermessungen nach der relativen Verdünnungsmethode soviel wie möglich zwischen den relativen Verdünnungsgraden $f = 0$ und $f = 0{,}0002$ zu arbeiten, wenn eine gesättigte Salzlösung benutzt wird, und in der Weise, daß die genannte Grenze entsprechend erweitert werden kann bei Anwendung einer schwächeren Salzlösung.

Bei den bisher gemachten Wassermessungen für die Bestimmung der Normalkurve haben wir einen justierten Behälter von ca. 50 l benutzt, und die zugesetzte Salzlösung ist gewöhnlicherweise nicht größer als ungefähr 0,1 V oder 5 cm³ gewesen. Die kleine Vermehrung des Volumens, welche durch den Zusatz entsteht, wird keine Fehlerquelle werden, da man auch die verhältnismäßig gleiche Vermehrung der Abflußmenge bekommt, wenn die Injektion ausgeführt wird.

Das Verfahren bei einer Wassermessung nach der relativen Verdünnungsmethode ist folgendes: In einem Behälter bringt man eine bekannte Menge Kochsalzlösung von beliebiger Konzentration herein. Dieser Behälter wird an einer Stelle angebracht, die so weit oberhalb der Meßstelle liegt, daß man hier, nach Anfang des Zusatzes, eine homogene Mischung von Flußwasser und Konzentrat bekommt. Die Art des Salzes ist belanglos und kann daher am nächsten Ort gekauft werden. Von der genannten Salzlösung wird eine kleine Probe herausgenommen für die Aufstellung der Normalkurve.

Für die weitere Bestimmung der Abflußmenge hat man zwei verschiedene Verfahren, die wir die *Diagrammethode* bzw. die *Aufsammlungsmethode* genannt haben.

Die Diagrammethode

Nachdem die Elektrode frei im strömenden Wasser an der Meßstelle angebracht worden ist und der Widerstand R_0 des natürlichen Wassers abgelesen worden ist, kann der Zusatz der Salzlösung beginnen. Der Widerstand wird kontinuierlich abgelesen mit gleichzeitigen Zeitbeobachtungen in der Zeit, wo das Salz die Beobachtungsstelle passiert, d. h. bis man wieder R_0 abliest. Dabei muß auch Temperaturmessung vorgenommen werden.

Wenn die Normalkurve festgelegt worden ist, kann das Widerstandsdiagramm zum Verdünnungsgraddiagramm umgerechnet werden (Abb. 1). Der Flächeninhalt A von diesem Verdünnungsgraddiagramm wird in der Gleichung (2) eingesetzt, und die Abflußmenge ist dadurch bestimmt.

In der Praxis wird man Widerstandsdiagramme und Normalk… nicht aufzeichnen; auch wird man die Rechenarbeit dadurch … erleichtern, daß man anstatt des Verdünnungsgraddiagramm… Diagramm $\left(\frac{R_0}{R} - 1\right)$ aufzeichnet und den Flächeninhalt davon mit Konstante K der Normalkurve multipliziert.

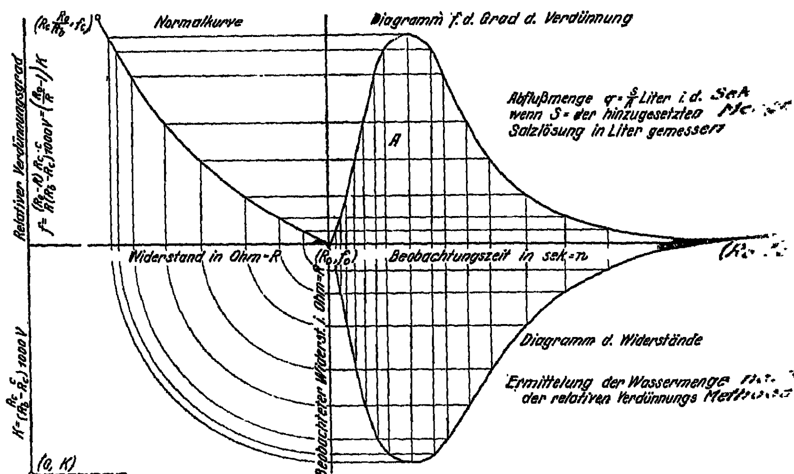


Abb. 1.

Die Abflußmenge wird dann

$$Q = \frac{S}{\int\limits_0^n \left(\frac{R_0}{R} - 1\right) K} \text{ l/s},$$

wo K nach der Gleichung (5) zu bestimmen ist.

Das Verfahren wird dasselbe, ob man veränderliche oder konstante Injektion von der Salzlösung benutzt. Bei konstanter Injektion benutzt man am besten einen Injektor nach dem Prinzip von *Mariotte*, und die Abflußmenge kann dann unter gewissen Verhältnissen auch in folgender Weise bestimmt werden: Benutzt man nämlich eine hinreichend lange Injektionszeit m, wird in einem gewissen Zeitintervall ein konstanter maximaler Verdünnungsgrad $= f_{max}$ an der Beobachtungsstelle auftreten. Dieser wird dann gleich dem Verhältnis sein zwischen injizierter Salzlösung pro Sekunde und der Abflußmenge pro Sekunde in der Weise, daß

$$f_{max} = \frac{\frac{S}{m}}{q}$$

oder

$$q = \frac{S}{m \cdot f_{max}}. \qquad (8)$$

Hier ist wie früher S die injizierte Salzlösung in Liter, während m die Injektionszeit in Sekunden ist. Der relative Verdünnungsgrad f_{max} wird wie früher aus der Normalkurve bestimmt, indem man in der Gleichung (4) für den Widerstand R, den kleinsten an der Meßstelle beobachteten Widerstand R_{min} während der Injektion einführt und für den Verdünnungsgrad f die Größe f_{max} einführt.

Man bekommt dann nach der Gleichung (8) die Abflußmenge

$$q = \frac{S \cdot R_{min}}{m \cdot (R_0 - R_{min}) \cdot K} \text{ l/s.} \tag{9}$$

Gewöhnlich wird nach diesem Verfahren mehr Salz notwendig sein als nach der Diagrammethode, wesentlich wegen der zwischen der Injektionsstelle und der Beobachtungsstelle auftretenden Widerseen und Vertiefungen. Diese Vertiefungen usw. müssen vollständig mit der Lösung gemischt sein bis zu demselben maximalen Verdünnungsgrad, ehe dieser an der Beobachtungsstelle auftreten kann. Es kann daher die Injektionszeit unverhältnismäßig lang und der Verbrauch an Salz ziemlich groß werden.

Die Diagrammethode ist daher vorzuziehen, auch weil diese Methode keine konstante Injektion verlangt. Man braucht mithin hier nur einen einfachen Behälter für den Salzzusatz.

Die Aufsammlungsmethode

Nach dieser Methode fällt die Registrierung des Widerstandsdiagramms weg, welches aus Nachfolgendem hervorgeht.

Während der Zeit n, wo das Wasser des Flusses in eine verdünnte Salzlösung umgewandelt ist, ist die abfließende Wassermenge mit S l vergrößert oder mit $\frac{S}{n}$ l/s, und die durchschnittliche Abflußmenge wird sodann $= q + \frac{S}{n}$.

Wenn man während dieser Zeit einen beliebigen, aber konstanten Teil der durchschnittlichen Abflußmenge ableitet und in einem Behälter aufsammelt, z. B. x l/s, wird die aufgesammelte Wassermenge von $x \cdot n$ l einen verhältnismäßigen Teil der zugesetzten Salzlösung oder

$$\frac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}} \text{ l}$$

enthalten.

Die aufgesammelte Wassermenge hat mithin einen Verdünnungsgrad von

$$F = \frac{\frac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}}}{x \cdot n - \frac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}}} = \frac{S}{q \cdot n},$$

und die Abflußmenge wird gleich

$$q = \frac{S}{F \cdot n}\ \text{l/s}. \tag{10}$$

Wird diese Gleichung mit der Gleichung (2) verglichen, wonach $q = \frac{S}{A}$ ist, dann sieht man, daß das Produkt $F \cdot n$ der Flächeninhalt A des Verdünnungsdiagramms ist. Mit anderen Worten: F ist gleich der mittlere Verdünnungsgrad während der Beobachtungszeit n.

Die Zeit n muß mit einer Elektrode im Flußwasser an der Aufsammlungsstelle bestimmt werden. Es mag beschwerlich sein, die Aufsammlung zum rechten Zeitpunkt anzufangen und abzuschließen. Die Aufsammlung soll daher beginnen, bevor die Lösung zur Meßstelle kommt und noch eine Zeit fortgesetzt werden, nachdem die Lösung passiert ist. Man ist dann sicher, daß nichts von der verdünnten Salzlösung passiert, ohne aufgesammelt zu werden. Selbst wenn die Aufsammlungszeit dadurch wesentlich länger wird als die theoretische Zeit, wird dieses ohne Einfluß auf das Endergebnis sein.

Ist also die theoretische Zeit n und die benutzte Zeit n_1, werden die aufgesammelten Mengen die Verdünnungsgrade von F bzw. F_1 haben.

Während der verlängerten Zeit $(n_1 - n)$ ist noch $\dfrac{x \cdot q}{q + \frac{S}{n}}(n_1 - n)$ l natürliches Wasser in den Behälter gekommen, indem x während dieser Zeit mit dem Verhältnis zwischen Durchschnittsabfluß der zwei Zeitintervalle reduziert wird.

Die aufgesammelte Menge der primären Salzlösung wird wie früher

$$\frac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}}.$$

Der Verdünnungsgrad während der Zeit n_1 wird dann

$$F_1 = \frac{\dfrac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}}}{x \cdot n - \dfrac{x \cdot S}{q + \frac{S}{n}} + \dfrac{q \cdot x}{q + \frac{S}{n}}(n_1 - n)} = \frac{S}{q\, n_1},$$

wovon

$$q = \frac{S}{F_1 \cdot n_1}.$$

Aus den Formeln der Abflußmenge bei den verschiedenen Aufsammlungszeiten n und n_1 sieht man, daß

$$F \cdot n = F_1 \cdot n_1.$$

Es geht hieraus hervor, daß die verlängerte Aufsammlungszeit nicht das Endergebnis beeinflußt.

Dieses Verhältnis wird immer bei Flußmessungen vorkommen, weil x sich selbst nach der Durchschnittsabflußmenge regulieren will, wenn die Wasserfassung fest geordnet ist.

Anders ist die Sache in Fällen, wo die Abflußmenge nicht bei der zugesetzten Salzlösung vergrößert wird, z. B. bei Turbinenmessungen, wo die Salzlösung die Turbine passiert. In diesem Falle wird die aufgesammelte Menge x die gleiche in den zwei Zeitintervallen sein.

Man bekommt dann

$$F = \frac{\frac{x \cdot S}{q}}{x \cdot n - \frac{x \cdot S}{q}} = \frac{S}{q \cdot n - S}$$

oder

$$q = \frac{S}{F \cdot n} + \frac{S}{n} .$$

Bei verlängerter Aufsammlungszeit bekommt man in derselben Weise

$$q = \frac{S}{F_1 \cdot n_1} + \frac{S}{n_1} .$$

Die Glieder $\frac{S}{n}$ und $\frac{S}{n_1}$, die die durchschnittliche primäre Salzlösung/s während der Beobachtungszeit darstellen, werden gewöhnlicherweise nur ein Bruchteil eines Liters betragen und sind daher so klein im Verhältnis zur übrigen Abflußmenge, daß man sie außer Betracht lassen kann.

Wird der Widerstand R_n der aufgesammelten Menge $x \cdot n$ und der Widerstand R_b eines entsprechenden Volumens von dem natürlichen Flußwasser in demselben Behälter gemessen, hat man gemäß Gleichung (6)

$$F = \frac{R_b - R_n}{R_n} \cdot K , \qquad (11)$$

wo K in gewöhnlicher Weise nach Gleichung (5) bestimmt wird, indem man anstatt $1000\,V$ setzt $1000\,x \cdot n$, wonach

$$K = \frac{R_c \cdot c}{(R_b - R_c)\, 1000 \cdot x \cdot n} .$$

Wird ein anderer Behälter für die Aufstellung der Normalkurve benutzt, müssen die Widerstände mit dem Verhältnis zwischen den Widerstandskapazitäten jeglicher Behälter korrigiert werden, um in Übereinstimmung mit den in dem Aufsammlungsbehälter gemessenen Widerständen gebracht zu werden. Um eine solche Korrektion zu vermeiden, sollte derselbe Behälter und ein Volumen von $x \cdot n$ l sowie zur Aufsammlung als zur Normalkurvenbestimmung benutzt werden.

Bei dieser Voraussetzung bekommt man, wenn die obengenannten Werte für F nach der Gleichung (11) in die Formel (10) geführt werden:

$$q = \frac{S}{F \cdot n} = \frac{S \cdot R_n}{(R_b - R_n)\, n \cdot K}$$

oder für K eingesetzt

$$q = \frac{S \cdot R_n (R_b - R_c) \, 1000 \, x \cdot n}{(R_b - R_n) \cdot R_c \cdot c \cdot n} \, \mathrm{l/s}, \tag{12}$$

wenn S in l angegeben wird, c in cm³ und n in s.

Der Wert n wird nicht aufgehoben, da die Größe $x \cdot n$ eine justierte Größe ist, welche auch in Liter angegeben wird.

Bei der Anwendung der Methode haben wir es als zweckmäßig befunden, einen justierten Behälter für ca. 50 l zu benutzen, sowohl für die Aufsammlung wie die Normalkurvenbestimmung. Die Aufsammlung wird in der Weise einreguliert, daß der Behälter nicht gefüllt wird, ehe die verdünnte Salzlösung passiert ist, auch wenn angefangen wird, einige Zeit bevor die Salzlösung kommt. Wenn die Justiermarke erreicht ist, wird die Aufsammlung abgeschlossen, die benutzte Zeit notiert und R_n gemessen.

Um die Arbeit zu vereinfachen und die Genauigkeit zu vergrößern, kann die Normalkurve mit der aufgesammelten verdünnten Salzlösung aufgestellt werden. Das Wasser ist dann nicht mehr das Flußwasser.

Der Widerstand R_b in der Gleichung für die Konstante der Normalkurve muß in diesem Falle mit R_n ersetzt werden. Man muß auch, wie früher gesagt, den Korrektionsfaktor $\frac{R_n}{R_b}$ einführen, um dadurch die Konstante auch für das Flußwasser zur Geltung zu bringen.

Bei der Entwicklung der Gleichung der Normalkurve wurde erwähnt, daß die Konstante K den Abstand der Abszisse von der Asymptote der Hyperbel darstellte. Im vorliegenden Falle ist die Abszisse von f_0 bis F verschoben worden, wobei auch K eine Vergrößerung von F bekommen hat. Nennt man die Konstante der Normalkurve, welche im aufgesammelten Wasser bestimmt worden ist, K_n, so hat man

$$K_n = K + F = K + \frac{R_b - R_n}{R_n} K,$$

woraus

$$K = K_n \frac{R_n}{R_b}.$$

Aus der Gleichung (11) wird dann der Verdünnungsgrad gefunden

$$F = \frac{R_b - R_n}{R_n} \cdot K_n \frac{R_n}{R_b} = \frac{R_b - R_n}{R_b} \cdot K_n.$$

Beim Einsetzen dieses Wertes in die Gleichung (10) bekommt man die Formel für die Abflußmenge, gemessen mit der Aufsammlungsmethode und mit der Normalkurve, welche mit Hilfe des aufgesammelten Wassers aufgestellt worden ist:

$$q = \frac{S}{F \cdot n} = \frac{S}{\frac{R_b - R_n}{R_b} \cdot K_n \cdot n} = \frac{S \cdot R_b}{(R_b - R_n) \, K_n \cdot n}$$

oder, da
$$K_n = \frac{R_c \cdot c}{(R_n - R_c) \cdot 1000 \cdot x \cdot n},$$
$$q = \frac{S \cdot R_b (R_n - R_c) 1000 \cdot x \cdot n}{(R_b - R_n) R_c \cdot c \cdot n} \text{ l/s}, \tag{13}$$
wo S in l angegeben wird, c in cm³ und n in s. Der Wert n wird nicht aufgehoben, weil die Größe $x \cdot n$ eine justierte Größe ist, die auch in l angegeben wird.

Hinzuzufügen ist, daß man die Grenze für die Gültigkeit der Normalkurve als Hyperbel nicht überschreiten darf, es ist schon vor dem Zusatz von c eine gewisse Menge primärer Salzlösungen im Behälter.

Bei Messungen nach der relativen Verdünnungsmethode haben wir für die Bestimmung der benutzten Menge Salzlösung einen justierten Behälter von ca. 50 l benutzt. Mit einem solchen Behälter und mit Anwendung einer gesättigten Salzlösung kann man Abflußmengen bis zu 50 m³/s messen in der Weise, daß man bei kleineren Abflußmengen denselben Behälter, aber eine schwächere Lösung benutzt. Bei größeren Abflußmengen kann man die Menge der Salzlösung mit demselben justierten Behälter abmessen durch das Überfüllen in einen größeren Behälter, der zum Zusatz der Salzlösung an die Abflußmenge benutzt wird.

Die zu einer Messung notwendige Salzmenge ist nicht nur von der Größe der Abflußmenge abhängig, sondern auch in hohem Grade von der Beschaffenheit des Flußlaufes; je kürzer die Strecke ist, welche für die Erreichung einer homogenen Mischung notwendig ist, je weniger Salz kann benutzt werden. Eine allgemeingültige Regel für die erforderliche Salzmenge ist schwer zu geben; es lernt sich aber mit der Erfahrung.

Als einen Anhaltspunkt für die Menge des Salzverbrauches kann gesagt werden, daß wir gewöhnlich ungefähr $^1/_4$ bis $^1/_2$ kg Salz pro m³ Abflußmenge benutzt haben für Messungen bis zu 30 m³, je nach den örtlichen Verhältnissen. Für eine Messung von 30 m³/s sollte somit der mittlere Salzverbrauch ca. 10 kg betragen. Für Messungen von größeren Abflußmengen liegen keine Erfahrungen vor.

Mit Rücksicht darauf, was über die Gültigkeit der Gleichung der Normalkurve gesagt worden ist, ist zu erwähnen, daß die Bestimmung des Verdünnungsgrades am genauesten wird, wenn man auf dem unteren Teil der Normalkurve arbeitet, wo der Widerstand sich am meisten ändert mit verhältnismäßig kleinen Änderungen des Verdünnungsgrades. Dieser kann entweder durch den Salzverbrauch oder durch die Injektion der Salzlösung reguliert werden.

Bei der *Diagrammethode* wird es oft zweckmäßig sein, eine langsame Injektion vorzunehmen, weil man dabei rasche und plötzliche Widerstandsänderungen vermeidet, welche schwierig auf der Meßbrücke verfolgt werden können. Auch besteht weniger Gefahr, daß man zu Verdünnungsgraden kommt, welche außerhalb der Gültigkeit der Normalkurve als Hyperbel liegen. Daraus folgt, daß die Diagrammethode gewöhnlich etwas mehr Salz verlangt als die Aufsammlungsmethode.

Bei der *Aufsammlungsmethode* kann die Salzlösung momentan zugesetzt werden, ohne den Genauigkeitsgrad dadurch zu beeinflussen. Man kann entweder durch eine Verlängerung der Aufsammlungszeit oder durch eine Verminderung des Salzverbrauches einen Verdünnungsgrad erreichen, welcher im günstigsten Teil der Normalkurve liegt. Die Aufsammlungsmethode ist der Diagrammethode vorzuziehen, weil die Methode sicherer, das praktische Verfahren und die Berechnung einfacher und der Salzverbrauch ein minimalerer ist. Wie später gezeigt werden soll, wird es oft von Vorteil sein, die beiden Methoden gleichzeitig zu benutzen, um dadurch eine Kontrolle zu bekommen.

Für eine homogene Mischung von Salzlösung und Flußwasser muß das Wasser gesammelt und von starker Strömung sein. Die Strecke, welche für die Erreichung der Mischung notwendig ist, wird um so kürzer, je unruhiger das Wasser ist; daher sind Wasserfälle und Stromschnellen als Meßstellen vorzuziehen.

Wenn die Bedingungen für eine homogene Mischung vorliegen, genügt es, die Salzlösung an einer günstigen Stelle ohne jede Verteilung auszugießen.

Bei der Wahl einer Meßstelle muß man darauf achten, daß die einmal erreichte Homogenität nach und nach gestört werden kann. Die Ursache dazu können Widerseen und Verzweigungen des Flußlaufes sein; auch wird die ungleiche Geschwindigkeit des Wassers in verschiedenen Querprofilen des Flusses eine Verschiebung der Salzwelle herbeiführen. Folglich wird ein bestimmter Verdünnungsgrad nicht gleichzeitig über das ganze Profil auftreten. Die Verdünnungsgraddiagramme können gleich groß sein und richtige Ergebnisse geben, selbst wenn sie zeitlich gegeneinander verschoben sind. Wenn daher die Elektrode im Flusse angebracht wird, muß sie denselben Platz während der ganzen Messung behalten. Da das Wasser in Widerseen und stilleren Teilen des Flusses seinen Salzgehalt am längsten behält und erst nach und nach von dem Strome mitgerissen wird, muß angenommen werden, daß dies störend auf die Mischung in den nächsten Strompartien wirkt. Man soll daher an solchen Stellen die Elektrode möglichst weit draußen im Strome anbringen. Doch hat man dann oft den Nachteil, daß Luftblasen und Wellenschlag die Widerstandsbeobachtungen stören. Dieses kann vermieden werden durch Ableiten von etwas Wasser zu einer Rinne, wo es ruhig ist und wo die Elektrode placiert werden kann. In dieser Hinsicht genügt es, ein Rohr oder eine Schlange im Fluß herauszulegen, unter Beachtung, daß die Wasserfassung an derselben Stelle während der ganzen Messung gehalten wird mit Rücksicht auf die Phasenverschiebung der Salzwelle. Wenn die Notwendigkeit solcher Veranstaltungen vorliegt, wird die Aufsammlungsmethode vorzuziehen sein. An Stellen, wo das nötige Gefälle nicht vorhanden ist, um das Wasser in Behälter überzuleiten, kann eine Pumpe für die Aufsammlung benutzt werden. Das untere Ende der Wasserleitung wird mit einem Hahn versehen, um die Aufsammlung zu regulieren und mit einer Abzweigung zur Elektrodenrinne, um Anfang und Schluß der Aufsammlung zu bestimmen. Gewöhnlich werden 1 bis 2 l/s genügen, sowohl zur Aufsamm-

lung als zur Rinne, wovon die Aufsammlung nur einen Bruchteil eines Liters verlangt. Man kann auch das Widerstandsdiagramm während der Aufsammlung beobachten und dabei eine Kontrolle der Messung bekommen.

Wenn man zum erstenmal eine Meßstelle benutzt, empfiehlt es sich, die Diagrammethode zu benutzen, um dabei einfach festzustellen, ob die Mischung homogen ist; auch wird dies praktisch sein, um später eine passende Aufsammlung einzuregulieren. Bei der Diagrammethode bekommt man nämlich einen guten Beweis für die Homogenität der Mischung durch den Verlauf des Widerstandsdiagramms; ein gleichmäßig abgerundetes Diagramm deutet auf homogene Mischung, während anderseits ein zackiges und unregelmäßiges Diagramm entsteht. Bei der Ausführung von zwei Messungen kann man sich auch einen Beweis für die Homogenität der Mischung verschaffen. Wenn die Mischung nicht hinreichend gut ist, wird man nur ganz ausnahmsweise dasselbe Resultat bekommen, selbst wenn man für beide Messungen dieselbe Wasserfassung benutzt.

Bei Turbinenmessungen haben wir mittels Flügelmessungen konstatiert, daß eine vollständige Vermischung der Salzlösung entsteht. Der Zusatz der Salzlösung kann hier geschehen entweder durch unmittelbares Eingießen der Lösung in die Wasserfassung oder noch besser durch ein Pumpwerk an der höchsten Stelle der Rohrleitung. In diesem Falle wird es praktisch sein, einen justierten Druckbehälter für die Salzlösung und eine Pumpe auf eine Shuntleitung der Rohrleitung zu schalten, weil ein ganz kleiner Überdruck nötig ist, um die Lösung in das Rohr einzupressen.

Für die Plazierung der Elektrode oder für die Aufsammlung kann mit Hilfe einer einfachen Anordnung ein wenig Wasser — 1 bis 2 l/s — vom Laufrad oder vom Saugrohr abgeleitet werden.

Die Zeit, welche für die Messung notwendig ist, d. h. für die Registrierung des Widerstandsdiagramms oder für die Aufsammlung, hängt von der Beschaffenheit des Flußlaufes ab und von der Zeit, welche der Zusatz der Salzlösung verlangt. Bei den bisher von uns gemachten Flußmessungen bis zu 30 m^3/s war diese Zeit 3 bis 10 min und für Turbinenmessungen 3 bis 5 min.

Beim Experimentieren sind die Messungen mittels Flügelmessungen kontrolliert worden. Es hat sich gezeigt, daß die Messungen nach der relativen Verdünnungsmethode in guter Übereinstimmung mit den Flügelmessungen sind. Doch zeigen die Messungen nach der relativen Verdünnungsmethode eine bessere innere Übereinstimmung; sie sind mit einer mehr gleichmäßigen Kurve verknüpft als die Flügelmessungen.

Weil der Säuregrad und die Temperatur des Wassers höchst verschieden sind, sollte die Elektrode verstellbar sein, damit die Widerstandsmessungen auf dem günstigsten Gebiet der Meßbrücke, z. B. zwischen 50 und 300 Ω gemacht werden können. Ferner sollte die Elektrode aus Edelmetall sein, weil Polarisation vorkommt, auch beim Wechselstrom des Induktoriums der Meßbrücke.

Bei der Anwendung von unedlen Metallen kann diese Polarisation bedeutend werden und die Ablesung stören. Zur Elektrode sind drei

Platten reinen Silbers (Reinheit 980) von der Größe 8 × 12 cm benutzt worden. Die Platte in der Mitte ist fest, die zwei anderen sind verstellbar. Die Elektrode sollte in einem Rahmen eingespannt sein, um gegen äußere Einwirkungen geschützt zu sein. Während des Gebrauches muß aufgepaßt werden, daß die Elektrode so aufgestellt ist, daß das Wasser in der Richtung des Stromes freien Lauf zwischen den Platten hat.

Es empfiehlt sich, die Meßbrücke mit einem doppelten Kopftelephon zu versehen, um sowenig wie möglich vom Geräusche des Wasserfalles oder der Turbine gestört zu werden.

Was die relative Verdünnungsmethode charakterisiert, ist folgendes:

1. Es wird eine Salzlösung von beliebiger Stärke benutzt.
2. Der Zusatz der Lösung kann durch beliebiges Eingießen während kürzerer oder längerer Zeit geschehen, ohne Anwendung von speziellen Apparaten.
3. Als Verdünnungsgrad wird das relative Verhältnis zwischen Salzlösung und Wasser definiert.
4. Der Verdünnungsgrad wird durch die elektrische Widerstandsmessung bestimmt, indem der Widerstand sich mit dem Verdünnungsgrad nach einer mathematischen Kurve ändert, nach der Normalkurve, welche bei jedem einzelnen Fall bestimmt werden muß.
5. Die Abflußmenge wird durch die auftretenden Verdünnungsgrade in einem Punkt an der Meßstelle bestimmt oder im davon abgeleiteten Wasser.
6. Die Abflußmenge wird nach der ganzen Wassermenge bestimmt, worin sich die Salzlösung befindet.

Die Durchführung einer Wassermessung mittels der relativen Verdünnungsmethode ist einfach, verlangt aber für ein gutes Ergebnis mehr Übung und Genauigkeit als bei anderen Methoden. Die eigentliche Messung kann im Laufe einiger Minuten gemacht werden, wobei Wasserstandsänderungen während der Messung vermieden werden.

Der Genauigkeitsgrad der Methode wird wesentlich davon abhängen, mit welcher Genauigkeit der Widerstand gemessen werden kann, da die sonstigen Fehlerquellen zu einem Minimum reduziert sind bei der Einführung von relativen Werten. Mit guten Meßbrücken sollte die Methode — richtig angewendet — sehr gute Ergebnisse aufweisen, ohne daß es doch möglich ist, jetzt etwas über den Genauigkeitsgrad zu sagen. Vergleichende Resultate der bisherigen Messungen deuten doch auf einen hohen Genauigkeitsgrad hin.

Die relative Verdünnungsmethode wird seit dem Herbst 1927 angewendet und ist in Norwegen patentgeschützt.

Summary

The relative dilution method is based on the physical laws governing the conductivity of salt solutions and on a definite method for the use of relative values. If a given quantity of salt solution of arbitrary strength is added to the stream water in any manner so as to make the solution homogeneous under certain circumstances, the stream water will be changed to a dilute salt solution with a variable

degree of dilution. The degree of dilution is characterized by the volumetric ratio between the salt solution and the water, so that we have only relative degrees of dilution.

The sum of the actual degrees of solution gives the volumetric ratio between the quantity of salt solution used and the quantity of water discharged per second, while the average value of the degrees of solution gives the volumetric ratio between the quantity of salt solution used and the quantity of water in which this has been diluted. The quantity of water discharged may be calculated when the actual degrees of dilution have been determined. The degree of dilution may be found by means of a curve termed *the normal curve* which shows the variation of the electric resistance with the degree of dilution.

To measure the resistance, use is made of an electrode connected to a Wheatstone measuring bridge for alternating current. The normal curve follows to a certain extent a hyperbola, the equation of which is determined by two fixed points. For determining the normal curve we employed a calibrated reservoir in which the resistance of the electrode was measured first in water from the measuring point, next in a mixture of the same water and a known quantity of the salt solution used.

The resistance is corrected in accordance with the capacity of the reservoir, so as to conform to the resistance at the measuring point. On the occurence of temperature variations corrections are made in conformity with the temperature curve of the eletrode. — The method by which the quantity of water discharged is measured, when the relative dilution method is employed, is as follows:

A known quantity of salt solution of arbitrary strength is added to the stream without consideration being paid to the proportion, at some suitable point, so that a homogeneous intermixture is obtained. Two methods for determining the quantity of water discharged may be used, viz. the *diagram method* and the *storage method.*

In the *diagram method* an electrode is placed detached in rushing water or in a channel, to which place the water is directed from the measuring place. By recording at the same time the resistance and time taken by the salt to pass the measuring point, a resistance diagram is obtained, which may be recalculated from the normal curve to give a diagram for the degree of dilution. The quantity of water discharged is then proportional to the quantity of salt solution used and inversely proportional to the area of the diagram for the degree of dilution.

When using the *storage method* there is no need to record the resistance diagram. In this case a small but constant quantity of the stream water is carried off and collected in an adjusted reservoir. The time taken to collect this water is immaterial, provided it is sufficient for the salt solution to pass the measuring point. The average degree of dilution during this period is found by measuring the resistance and from the normal curve. The product of the average degree of dilution and the time period in question corresponds to the area of the dilution degree diagram, while the quantity of water discharged is proportional to the quantity of salt solution used and inversely proportional to the above product.

A necessary condition for the relative dilution method is that both the measuring of the resistance and the collection of the water should take place at one and the same point in view of the time factor in the saline wave.

The method has been tested with good results both for measuring the discharge quantities of streams and for turbine measurements. Up to the present we have had the opportunity of measuring discharge quantities up to 30 m^3/s. Here the consumption of salt has amounted to $^1/_4$ to $^1/_2$ kg/m^3 of water discharged.

Nr. 216

Suisse

Contribution à l'étude de l'écoulement en déver

Schweizerisches Nationalkomitee

Dr. M. Golaz

Le *principe du maximum de débit*, posé par *Bélanger* vers 1
considéré généralement comme un des grands principes direct
l'hydraulique. Rappelons qu'il peut s'énoncer de deux faço
valentes[1]:

La forme stable des phénomènes hydrauliques est celle qu
des conditions extérieures données, correspond aux conditions d
ment donnant le maximum de débit.

Ou encore: dans une masse liquide en mouvement, l'énergie
tielle tend toujours à décroître le plus possible.

En fait, l'exactitude de ce principe n'a jamais été démont
contestée. L'expérience est venue simplement confirmer que son
cation au problème théorique du calcul du débit d'un déversoir con
à des résultats satisfaisants, les écarts relevés entre la théorie
réalité étant attribués à l'imperfection des hypothèses placées à l
du calcul, mais non au principe lui-même.

Dans les lignes qui suivent, je me propose de développer briève
quelques considérations nouvelles sur le problème si complexe du
sement, lesquelles m'ont conduit en fin de compte à suggérer un p
plus général que le postulatum de *Bélanger*.

1. Puissance caractéristique d'un courant liquide comportant une s libre. — Enoncé d'un nouveau principe

Considérons un filet liquide en mouvement permanent, de s
transversale très petite $\mathrm{d}\,\omega$. Soient z la distance de son centre de g
à la ligne de charge, $\mathrm{d}\,q$ son débit et v la vitesse du liquide en ce
On convient d'appeler *puissance hydraulique* $\mathrm{d}\,P$ de ce filet dans la s
envisagée, le produit

$$\mathrm{d}\,P = \gamma \cdot \mathrm{d}\,q \cdot z$$

où γ est le poids spécifique de l'eau. Cette relation peut encore s

$$\mathrm{d}\,P = \gamma \cdot \mathrm{d}\,\omega \cdot v \cdot z = \gamma \cdot \mathrm{d}\,\omega_a \cdot v \cdot z \cos\alpha$$

si l'on envisage la section $\mathrm{d}\,\omega_a$ du filet suivant un plan vertical, α
l'angle formé par la vitesse avec l'horizontale.

[1] D. Eydoux, Hydraulique générale et appliquée, page 258. J. B. Baillère, Paris 1921

Lorsque le courant liquide est de dimensions finies (largeur constante l) et comporte une surface libre, la puissance développée au travers d'une section verticale Ω sera évidemment l'intégrale

$$(1) \qquad P = \gamma\, l \int_{H-t}^{H} v \cdot z \cdot \cos\alpha \cdot \mathrm{d}z$$

t désignant l'épaisseur de la veine liquide suivant la verticale et H la charge apparente, c'est-à-dire le tronçon de droite intercepté par la ligne du radier et la ligne de charge (fig. 1).

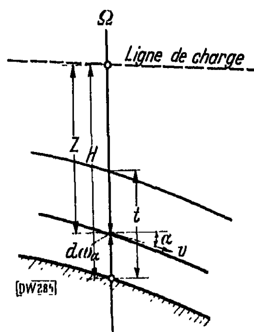


Fig. 1.

Le débit Q traversant la même section sera donné par l'expression

$$(2) \qquad Q = l \int_{H-t}^{H} v \cdot \cos\alpha \cdot \mathrm{d}z$$

La relation (1) peut d'ailleurs se mettre sous la forme plus simple

$$(3) \qquad P = \gamma\, l \int_{H-t}^{H} z \cdot \mathrm{d}q = \gamma\, Q\, \xi$$

dont l'interprétation mécanique est immédiate:

La puissance hydraulique développée dans une section verticale par un courant liquide de dimensions finies est égale au produit du débit (en T/sec) par la distance ξ du centre de gravité de la section à la ligne de charge.

Si l'on fait varier maintenant t, tout en conservant H constant, la puissance varie. Aux limites, on aura

$$t = 0 \qquad P = 0$$
$$t = H \qquad P = 0.$$

Entre ces deux valeurs extrêmes, la puissance P passe par un maximum que je désignerai par *puissance caractéristique* P_{ca}, *le tirant caractéristique* t_{ca} étant celui qui rend précisément maximum la puissance P.

Considérons un déversoir à directrice curviligne π. Soit H_v la charge en crête (section Ω_v). Nous négligerons l'influence des frottements, ce qui revient à admettre que la ligne de charge reste horizontale[2]. Il est en résulte que la charge apparente H est connue pour toute section

[2] Ce fait a été mis en évidence par M. Escande (Thèse de doctorat, Toulouse 1929) dans toute la partie de la lame déversante où le mouvement est irrotationnel.

verticale quelconque, ce qui permettrait de déterminer pour chacune d'elle la puissance caractéristique correspondante.

Nous poserons alors comme principe que *la forme stable du déversement est celle qui, dans des conditions extérieures données, développe la puissance caractéristique la plus grande, la vitesse et la pression*[3] *en chaque point de la veine liquide devant, bien entendu, satisfaire aux équations générales de l'hydrodynamique.*

Nous appelerons alors *section caractéristique* Ω_{ca} *du déversoir* la section verticale où la puissance développée est égale à la puissance caractéristique, le débit qui lui correspond étant précisément le débit caractéristique passant par le déversoir. Enfin, je désignerai par *charge caractéristique apparente* H_{ca}, la charge apparente mesurée dans cette même section.

Il convient toutefois de signaler que l'application de ce principe au problème général des déversoirs à filets curvilignes se heurte à des difficultés analytiques insurmontables. Je me bornerai donc à en vérifier l'exactitude dans deux exemples classiques de la pratique courante.

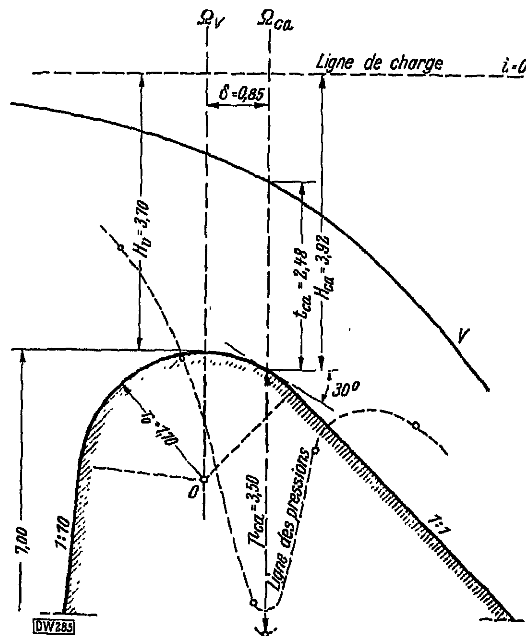


Fig. 2. En chaque point du parement, on porte suivant la verticale une longueur mesurant à l'échelle du dessin la pression en ce point en hauteur d'eau.

[3] Il convient de choisir comme zéro des pressions la pression atmosphérique et de vérifier qu'il ne se produit pas de cavitation.

2. *Déversoirs en forme de doucine*

Considérons le déversoir représenté sur la fig. 2, comportant deux talus plans, raccordés par une doucine de rayon r_0. La largeur est supposée égale à l'unité, la charge en crête étant H_v.

Nous admettrons que dans la section caractéristique Ω_{ca} il y a parallélisme des filets et de la doucine; enfin, que les trajectoires sont des lignes dont les rayons de courbure r vérifient les deux relations

$$(4) \qquad r = r_0 + (H-z) \cos \alpha$$

$$(5) \qquad v\, r = C$$

En partant de l'équation (2), on établit alors facilement, en fonction de t, l'expression du débit qui traverse la section Ω_{ca}

$$(6) \qquad Q = (r_0 + t \cos \alpha)\ (H-t)^{1/2} \lg \left(\frac{r_0 + t \cos \alpha}{r_0}\right) \sqrt{2\,g}$$

Supposons pour un instant que l'on fixe d'une manière arbitraire la valeur de $t = t_1$. Dans l'équation (5), la constante C peut se déterminer pour le filet supérieur

$$C_1 = \sqrt{2\,g\,(H-t_1)}\ (r_0 + t_1 \cos \alpha)$$

On en déduit alors la vitesse en chaque point de la lame et, par conséquent, à l'aide de (1) la puissance développée[4]. Pour trouver la forme stable, on doit donc, en vertu du principe énoncé plus haut, rechercher la puissance développée maximum. On y parvient par approximations successives en posant $t = t_1, \ldots, t_i, \ldots, t_{ca}$. L'équation (6) donne alors immédiatement la valeur du débit cherché.

Dans ce qui précède, j'ai supposé implicitement que la position de la section Ω_{ca} était connue, c'est-à-dire était une donnée empruntée à l'expérience. Il s'ensuit que la vitesse et la pression vérifient en chaque point les équations du mouvement. Le régime est donc stable par définition.

Cas particulier[5]

$H_v = 3{,}70$ m $\quad r_0 = 1{,}70$ m $\quad$ Profondeur devant le seuil $p = 7{,}00$ m.

L'examen attentif de la ligne d'eau fait voir nettement que la section caractéristique est distante de $\delta = 0{,}85$ m de la section Ω_v; l'angle d'inclinaison des filets sur l'horizontale étant très sensiblement égal à 30°. On a d'autre part $H_{ca} = 3{,}93$ m.

L'application numérique des considérations précédentes n'offre aucune difficulté. On trouve que la puissance P_{ca} correspond à un tirant $t_{ca} = 2{,}48$ m (2,47 m)[6]; la formule (6) fournit le débit $Q = 16{,}62$ m³/sec. (16,65). Enfin, si on calcule la dépression sur radier, on obtient 3,50 m (3,30 m par interpolation). Au surplus, on constate que celle-ci paraît être maximum au droit de Ω_{ca}. D'une manière générale, la concordance entre le calcul et l'expérience est assez satisfaisante.

---

[4] Dans un cas concret, on procèdera par différences finies.

[5] Essai effectué sur modèle 1/20 au Laboratoire d'Hydraulique de l'Institut électrotechnique de Toulouse, pour le compte de la Société hydro-électrique du Verdon à Paris. Les essais ont porté sur la mesure du débit, forme de la surface libre et pression exercée sur le parement.

[6] Les chiffres entre parenthèses sont les résultats observés sur le modèle réduit.

La formule des déversoirs dénoyés étant[7]

$$Q = m\, l\, H_v^{3/2} \sqrt{2g}$$

on voit que le coefficient de dépense ressort à $m = 0{,}526$, résultat que confirme avec une approximation suffisante la formule proposée par M. Rehbock[8].

Remarquons encore en terminant, que l'application du principe du maximum de débit dans la section Ω_v ou dans la section caractéristique conduirait à des résultats notablement différents.

3. *Déversoirs à filets sensiblement horizontaux*

Lorsque les filets restent sensiblement horizontaux sur toute la longueur du déversoir, on peut introduire de nombreuses simplifications (fig. 3).

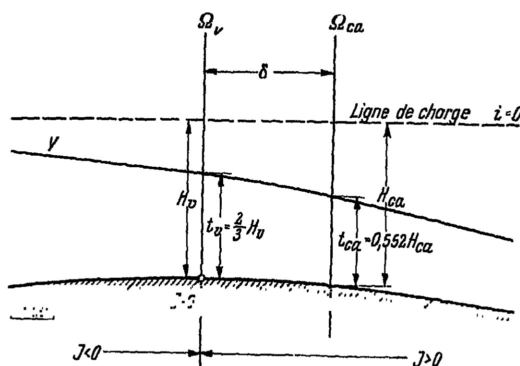


Fig. 3.

Dans une section Ω quelconque, la puissance P s'écrira

$$P = \gamma\, l \sqrt{2g}\, (H - t)^{1/2}\, t \left(H - \frac{t}{2}\right)$$

Elle passe par un maximum pour

$$t = H \left(1 \pm \frac{\sqrt{5}}{5}\right)$$

---

[7] Cette façon d'écrire, conforme à la loi de Reech-Froude sur les similitudes géométrique et dynamique des phénomènes hydrauliques, permet de se rendre indépendant de la forme de la nappe libre, de la vitesse d'approche et par conséquent de la section où l'on mesure l'épaisseur de la lame au-dessus de la crête.

[8] La formule de M. Rehbock a pour expression (Hydraulisches Rechnen, de Weyrauch, Stuttgart 1921):

$$m = 0{,}208 + 0{,}666 \sqrt{0{,}30 - 0{,}01 \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2} + 0{,}09\, \frac{h}{p}$$

avec la condition d'adhérence $H < r \left(6 - \frac{20r}{p + 3r}\right)$

où h est la hauteur ou charge d'eau sur la crête et p [illegible] ief amont, mesurées en mètres. Le 3ème terme représente la correction relative à la [illegible]. La quantité H telle que nous l'avons définie précédemment, tenant compte de ce [illegible], il n'y a donc pas lieu de le laisser subsister dans la relation précédente. En posant $h = H_v = 3{,}70$ m, $p = 7{,}00$ m et $r = 1{,}70$ m on trouve $m = 0{,}521$; l'inégalite qui traduit la condition d'adhérence est en outre satisfaite.

La première racine est à éliminer d'emblée. Le tirant t_{ca} ressort par conséquent à[9]

$$t_{ca} = H\left(1 - \frac{\sqrt{5}}{5}\right) = 0{,}552\,H$$

La puissance caractéristique devient

$$P_{ca} = 0{,}268\,\gamma\,l\,\sqrt{2\,g}\,H^{5/2}$$

et le débit correspondant

$$Q = 0{,}370\,l\,\sqrt{2\,g}\,H^{3/2}$$

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la section Ω_v, la charge H augmente; il en est de même de la puissance P_{ca}. Pour déterminer la forme stable du déversement, on doit rechercher, en vertu du principe énoncé plus haut, la plus grande valeur de P_{ca} compatible avec les équations du mouvement. On se rend compte immédiatement que celle-ci sera atteinte lorsque le débit qui traverse la section caractéristique Ω_{ca} sera lui-même le plus grand que l'on puisse concevoir dans le bief considéré, autrement dit lorsque le débit sera maximum dans la section Ω_v où la charge est minimum[10]).

On retrouve donc, *mais dans ce cas seulement*, un résultat qui est la confirmation, par voie de conséquence, du principe du maximum de débit.

4. *Conclusion*

Les conditions qui commandent le mécanisme du déversement sont en définitive réglées dans une section verticale qui n'est pas forcément celle où la charge est minimum (section Ω_v).

Lorsque les filets sont curvilignes, la charge caractéristique se trouve majorée d'un composante dûe à la force centrifuge et qui a pour effet d'entrainer par succion un appel d'eau plus important. Il convient de remarquer toutefois, que si la forme géométrique de la directrice ne se prête pas à ces conditions (courbure plus ou moins prononcée) le régime peut devenir pulsatoire, nettement variable ou même impossible. Dans ce dernier cas, la lame déversante n'adhère plus sur le radier.

Lorsque les filets sont sensiblement horizontaux, la charge caractéristique effective est égale à la charge caractéristique apparente. Le régime permanent est toujours possible.

Enfin, le principe énoncé plus haut contribuera, à condition qu'on puisse le vérifier ailleurs, à fournir une explication plus satisfaisante du mécanisme général qui règle le mouvement de l'eau à la surface du globe. Il permettrait en outre d'envisager une méthode simple de jaugeage, à l'aide d'une seule observation lorsqu'on dispose d'un ouvrage de décharge approprié. La description de cette méthode et son application feront l'objet d'un note distincte.

---

[9] Il n'est pas inutile de rappeler que le tirant caractéristique t_{ca} ne s'identifie pas avec le tirant critique t_{cr} donnant au droit de la section Ω_v le maximum de débit. Celui-ci, comme on le sait est égal à $^2/_3\,H_r$.

[10] Comme je l'ai montré dans une note précédente (Bulletin Technique de la Suisse romande des 20 octobre et 3 nov. 1928) ce résultat est encore vrai lorsqu'on tient compte de la dissipation d'énergie due aux frottements sur les parois. La section critique Ω_{cr} est alors décalée vers l'aval.

Zusammenfassung

Das von *Bélanger* ums Jahr 1857 aufgestellte Prinzip der maximalen Wassermenge ist heute noch für die Hydraulik richtunggebend. Seine Richtigkeit ist zwar weder bewiesen noch bestritten worden. Die Praxis hat bloß erwiesen, daß seine Anwendbarkeit bei der Überfallsberechnung zu befriedigenden Ergebnissen führt, wobei jedoch die zwischen Theorie und Praxis auftretenden Abweichungen den Voraussetzungen, keinesfalls aber dem Grundsatz selbst, zugeschrieben werden.

Im vorliegenden Berichte habe ich untersucht, ob jene betreffenden Abweichungen nicht die Folge einer irrtümlichen Auslegung wären. Die zu diesem Zwecke dargelegten Betrachtungen haben mich dazu geführt, einen neuen und generelleren Grundsatz vorzuschlagen, der auf dem Begriff der Kraftleistung eines Wasserstromes beruht. Das stabile Gebilde der hydraulischen Erscheinungen nimmt sodann eine klare, mechanische Bedeutung an.

Die Anwendung dieses neuen Grundsatzes stößt leider auf unüberwindliche, rein analytische Hindernisse. Jedoch ist es mir gelungen, seine Richtigkeit in beiden folgenden klassischen Fällen nachzuprüfen:

a) Überfall mit kreisabgerundeter Krone

Mit Hilfe einiger im Wasserbaulaboratorium aufgenommenen Beobachtungsdaten stimmen theoretische wie experimentelle Ergebnisse vollständig überein. Der *Bélanger*sche Grundsatz führt dagegen zu wesentlich abweichenden Resultaten.

b) Überfall mit fast horizontal bleibenden Wasserfäden

Die erlangten Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit des *Bélanger*schen Grundsatzes, als Sonderfall des vorgeschlagenen neuen Grundsatzes.

Schließlich sei noch erwähnt, daß es möglich wäre, auf Grund dieses Prinzips, eine einfache Wassermessungsmethode ins Auge zu fassen, wenn über eine geeignete Entlastungsanlage verfügt werden kann.

Schweiz

Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy

Bericht des Schweizerischen Nationalkomitees

Dr.-Ing. A. Strickler

Einleitung

An der Schlußsitzung der Sondertagung der Weltkraftkonferenz in Basel 1926 wurde unter anderem folgende Resolution gefaßt:

„Es ist wünschenswert, daß einheitliche Methoden der Bestimmung der Konstanten in *Chézys* Formel der Geschwindigkeit von Wasser in Kanälen und Leitungen aufgestellt werden.

Das Exekutivkomitee beschließt daher, die Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz zu ersuchen, Methoden zur Bestimmung dieser Konstanten vorzuschlagen."

Das internationale Exekutivkomitee der W.P.C. hat die verschiedenen Nationalkomitees um ihre Berichte ersucht und daraufhin in seiner Sitzung 1927 in Cernobbio (Italien) das Schweizerische Nationalkomitee gebeten, ihm über die eingelangten Äußerungen der verschiedenen Nationalkomitees einen zusammenfassenden Bericht zu erstatten.

Im Auftrage des Schweizerischen Nationalkomitees hat es der Berichterstatter übernommen, diesen Bericht zu verfassen. Das vorliegende Material ist leider kein reichhaltiges, da nur das Polnische und das Schweizerische Nationalkomitee Vorschläge eingereicht hatten. Der Verfasser erlaubt sich daher, außerdem auch die der Basler Sondertagung vorgelegten Berichte noch einmal kurz heranzuziehen, in der Absicht, einen dem heutigen Stand der Erfahrungen entsprechenden Vorschlag als Beantwortung der oben genannten Resolution der Sondertagung auszuarbeiten.

1. Die Vorschläge der Nationalkomitees

Das *Schwedische Nationalkomitee* hat sich dahingehend geäußert, es scheine wünschenswert, daß die Untersuchung, wenn sie überhaupt von der Weltkraftkonferenz durchgeführt werden soll, auf eine etwas breitere Basis gestellt werde, als sich aus dem Wortlaut der Resolution ergibt, und daß eine Zusammenstellung der bisher in den verschiedenen Ländern benützten Formeln, die den Zusammenhang zwischen der Wassergeschwindigkeit, Gefälle usw. in offenen und geschlossenen Leitungen darstellen, gemacht werde; daneben sollen auch die Methoden der experimentellen Ermittlung der zahlenmäßigen Größe der Koeffizienten der verschiedenen Formeln untersucht werden.

Das *Schweizerische Nationalkomitee* hat diesem Vorschlag zugestimmt. Es hat, in Erledigung der Aufforderung, die vom internationalen Exekutivkomitee an sämtliche Nationalkomitees gerichtet worden war, die Publikation des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft: „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen", verfaßt vom Berichterstatter, dem Zentralbüro in London unterbreitet. In dieser amtlichen schweizerischen Publikation ist eine Untersuchung über die verschiedenen Formeln, wie sie vom Schwedischen Nationalkomitee vorgeschlagen wurde, bereits enthalten; außerdem gibt sie die Resultate der zahlreichen experimentellen Ermittlungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft über die zahlenmäßige Höhe der Koeffizienten für verschiedene Wandungsmaterialien bzw. Rauhigkeitsgrade wieder. Ganz kurz zusammengefaßt kommt der Verfasser dieser Publikation zu folgendem Schluß:

„Für denjenigen Anwendungsbereich, der den Wasserbauingenieur vor allem interessiert, d. h. für Ströme, Kanäle, Stollen, Wildbachschalen und Rohrleitungen mit nicht zu kleinen Dimensionen, ergibt die alte Formel von *Gauckler* bzw. *Hagen*

$$v = k_2 \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} = k_2 \cdot \sqrt[6]{R} \cdot \sqrt{R \cdot J}$$ [1]

genügend genaue und zuverlässige Resultate."

Der Ausdruck $k_2 \cdot \sqrt[6]{R}$ ist gleich dem Koeffizienten c in der *Chézy*schen Formel

$$v = c\sqrt{R \cdot J};$$

der Koeffizient k_2 ist eine *wirkliche* Konstante, die nur vom Rauhigkeitszustand der Wandungen, nicht aber von den andern Größen: Gefälle J und Profilradius R abhängt; der Wert k_2 muß, um in zuverlässiger Weise für Berechnungen benützt werden zu können, experimentell bestimmt werden aus einer Meßreihe, wo das Gefälle J und der Profilradius R gemessen und die mittlere Wassergeschwindigkeit (aus der gemessenen Wassermenge und dem wasserführenden Querschnitt) berechnet wird.

Das *Polnische Nationalkomitee* empfiehlt dagegen, für Wasserläufe mit beweglicher Sohle auf die *Chézy*sche Grundform ganz zu verzichten, und dafür die Formel von Prof. *Matakiewicz*, welche keinen variablen Rauhigkeitskoeffizienten enthält, allgemein anzuwenden:

$$v = 35{,}4 \cdot T^{0{,}7} \cdot J^{0{,}493 + 10J}.$$

Der Grundgedanke, der dieser Formel zugrunde liegt, beruht auf der Erfahrungstatsache, daß die natürlichen Gewässer in ihren steileren Oberlaufpartien auf gröberem Material laufen, im Unterlauf, bei im allgemeinen geringeren Gefällen, laufen sie auf feinerem Bettmaterial; zwischen dem Gefälle und der Bettrauhigkeit besteht nach der Auffassung dieses Autors eine eindeutige Beziehung.

---

[1] *Bezeichnungen:*
v = mittlere Wassergeschwindigkeit im Querschnitt (in m/s),
c = *Chézy*scher Beiwert,
J = relatives Gefälle (abs. Zahl),
R = [illegible]
T = [illegible] (in m),
D = Durchmesser (bei Rohren) (in m).

Herr Prof. *Matakiewicz* hebt hervor, daß diese Formel den großen Vorteil besitze, daß man bei deren Anwendung nicht irgendeinen Rauhigkeitskoeffizienten wählen müsse, daß man daher in dieser Hinsicht keiner Unsicherheit und somit keiner Fehlerquelle gegenüberstehe, wie bei irgendeiner andern Formel, die sich auf der *Chézy*schen Grundform aufbaut.

Das Polnische Nationalkomitee empfiehlt ferner, für Gerinne mit festen Wandungen eine ähnliche Formel ohne variablen Rauhigkeitskoeffizienten zu verwenden, nämlich

$$v = A \cdot R^{0,7} \cdot J^{m}.$$

Der Exponent m ist in dieser Formel variabel und hängt von der Rauhigkeit der Wandung sowie vom Gefälle J ab. Der Verfasser, Herr Prof. *Matakiewicz*, gibt in seiner Publikation[2] eine Tabelle, in welcher der Wert m für verschiedene Wandungsmaterialien angegeben ist.

m ergibt sich demnach für Stollen mit Zementverputz zu etwa 0,33 bis 0,38 für gußeiserne Rohrleitungen $m = 0{,}37 - J^{0,5}$ bis $0{,}478 - 1{,}2\,J$.

Der Vollständigkeit halber sei hier auch auf den Vorschlag von *Parry* (England) kurz hingewiesen, der als nationaler Bericht der Basler Sondertagung der Weltkraftkonferenz eingereicht wurde und somit gewissermaßen auch als eine Äußerung aus britischen Kreisen betrachtet werden kann, welche dahin geht, auf die *Chézy*sche Form ganz zu verzichten, und dafür eine Schar von experimentell ermittelten Kurven zu benützen, die als Abszissen die Logarithmen der *Reynold*sschen Zahl, und als Ordinaten den „Widerstandskoeffizienten" besitzen. Der Unterzeichnete hat als Generalberichterstatter in der Diskussion (siehe 1. Bd., S. 965 bis 968) hervorgehoben, daß die genaue Bestimmung der „spezifischen (oder relativen) Rauhigkeit" wie sie der Vorschlag von Herrn *Parry* mit sich bringt, mit Schwierigkeiten verbunden ist, und daß es zu einfachern Rechnungen führt, wenn man von der „absoluten Wandrauhigkeit" ausgeht. Im übrigen sei auf die obenerwähnte Diskussion verwiesen.

2. Zusammenstellung von bestehenden Formeln für offene Gerinne mit festen Wandungen oder beweglicher Sohle

Dem schwedischen Vorschlag entsprechend sind nachfolgend einige der gebräuchlichsten Formeln für die Wassergeschwindigkeit in Gerinnen mit festen Wandungen zusammengestellt und kritisch untersucht. Es ist nicht möglich, diese Untersuchung auf alle bekannten Formeln auszudehnen; sie muß auf die typischen beschränkt bleiben, wobei aber sowohl ältere als neuere Formeln berücksichtigt werden.

a. Formeln nach der Chézyschen Grundform $v = c\sqrt{R \cdot J}$ mit variablem Koeffizienten c.

Gauckler
$$\begin{cases} v = k_1 R^{\frac{4}{3}} \cdot J \quad \text{für } J < 0{,}0007 \quad \text{oder} \quad c = k_1 R^{\frac{5}{6}} J^{\frac{1}{2}}, & \text{(1a)} \\ v = k_2 R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \quad „\ J > 0{,}0007 \quad „ \quad c = k_2 R^{\frac{1}{6}}. & \text{(1b)} \end{cases}$$

[2] „Ogolna formula na średnia chyżość przepływu w łożyskach rzecznych i kanałowych."

$$\textit{Ganguillet-Kutter} \quad v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{RJ}$$

$$\text{oder} \quad c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\,. \qquad (2)$$

$$\textit{Manning} \text{ für Kanäle} \quad v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \qquad \text{oder} \quad c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}\,. \qquad (3)$$

$$\textit{Manning} \text{ für Ströme} \quad v = 34\left(1 + 0{,}25\sqrt{R} - \frac{0{,}03}{\sqrt{R}}\right)\sqrt{RJ}$$

$$\text{oder} \quad c = 34\left(1 + 0{,}25\sqrt{R} - \frac{0{,}03}{\sqrt{R}}\right). \qquad (4)$$

$$\textit{Bazin} \text{ (neu)} \quad v = \frac{87\sqrt{R}}{\varepsilon + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{RJ} \qquad \text{oder} \quad c = \frac{87\sqrt{R}}{\varepsilon + \sqrt{R}}\,. \qquad (5)$$

$$\textit{Forchheimer} \quad v = k_3 R^{0{,}7} J^{0{,}5} \qquad \text{oder} \quad c = k_3 \cdot R^{0{,}2}\,. \qquad (6)$$

$$\textit{Köchlin} \quad v = k_4\left(1 + 0{,}6\sqrt{R}\right) \cdot \sqrt{RJ} \quad \text{oder} \quad c = k_4\left(1 + 0{,}6\sqrt{R}\right). \qquad (7)$$

$$\textit{Matakiewicz} \quad v = 35{,}4 R^{0{,}7} \cdot J^{m} \quad \text{oder} \quad c = 35{,}4 R^{0{,}2} \cdot J^{m-0{,}5}\,. \qquad (8)$$

In Formeln (3) bis (7) ist c vom Profilradius, in Formeln (1a) und (2) außerdem vom Gefälle und in allen Fällen von einer variablen Rauhigkeitsziffer (k_1, k_2, k_3, k_4, n, ε) abhängig.

b. Formeln ohne variable Rauhigkeitskoeffizienten
(für Wasserläufe mit beweglicher Sohle)

$$\textit{Hermanek}\begin{cases} v = 30{,}7\, T J^{0{,}5} & \text{für} \quad T < 1{,}50\,\text{m} \quad \text{oder} \quad c = 30{,}7\, T^{\frac{1}{2}}, \\ v = 34\, T^{\frac{3}{4}} J^{\frac{1}{2}} & \text{für } 1{,}5 < T < 6\,\text{m} \quad \text{oder} \quad c = 34\, T^{\frac{1}{4}}, \\ v = 44{,}5\, T^{0{,}6} J^{0{,}5} & \text{für} \quad T > 6\,\text{m} \quad \text{oder} \quad c = 44{,}5\, T^{0{,}1}. \end{cases} \qquad (9)$$

$$\left.\begin{array}{r}\textit{Matakiewicz} \\ \text{für Ströme}\end{array}\right\} v = 35{,}4\, T^{0{,}7} J^{0{,}493 + 10J} \quad \text{oder} \quad c = 35{,}4\, T^{0{,}2} J^{10J - 0{,}007}\,. \qquad (10)$$

In diesen beiden Formeln ist c von der Rauhigkeit nicht abhängig, dagegen von der mittleren Wassertiefe T und außerdem noch vom Gefälle J in Formel (10).

3. Zusammenstellung einiger bestehender Formeln für geschlossene Leitungen (Druckleitungen)

$$\textit{Fanning} \quad v = k_5 D^{0{,}5} J^{0{,}5} \qquad \text{oder} \quad c = k_5 \qquad (11)$$

$$\left.\begin{array}{r}\textit{Christen} \\ \text{u. } \textit{Scobey}\end{array}\right\} v = k_6 D^{0{,}625} J^{0{,}5} \qquad \text{oder} \quad c = k_6 D^{\frac{1}{8}}\,. \qquad (12)$$

Flamant, *Saph* u. *Schoder*, *Blasius*	$v = k_7 D^{0,71} J^{0,57}$ oder $J = \lambda \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}}$ oder $c = k_7 D^{0,21} J^{0,07}$. (13)
Tutton (für neue gußeiserne, geteerte Rohre)	$v = 34{,}8\, D^{0,66} J^{0,51}$ oder $c = 34{,}8\, D^{0,16} J^{0,01}$. (14)

Ferner sind auch die Formeln (2), (5), (6), (7) auf geschlossene Leitungen anwendbar.

4. Kritischer Vergleich der verschiedenen Formeln

Von allen aufgezählten Formeln, für den Wert c, die unter sich so sehr voneinander abweichen, ergibt natürlich jede richtige zahlenmäßige Werte in demjenigen Bereich der Dimensionen und Geschwindigkeiten, aus dem die Versuche stammen, die zur Aufstellung der betreffenden Formeln geführt haben. Sieht man von der Frage der Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser zugrunde gelegten Messungen vorläufig ab, d. h. setzt man in diese keinen Zweifel, so besteht für den Wasserbauingenieur doch ein unbefriedigender Zustand angesichts der Mannigfaltigkeit dieser Formeln, die unter sich scheinbar in keinem inneren Zusammenhang stehen, und wo es schwierig zu entscheiden ist, welche derselben für einen bestimmten Anwendungsfall die beste ist.

Für die Institution der Weltkraftkonferenz lag daher eine dankbare Aufgabe darin, eine vergleichende Studie über diese Formeln und Vorschläge über eine einheitliche Berechnungsmethode des *Chézy*schen Koeffizienten veranlaßt zu haben.

Im vorliegenden Abschnitt sei daher vorerst an Hand einiger graphischer Darstellungen der Geltungsbereich der verschiedenen Formeln illustriert und sodann im Abschnitt 5 eine vom Verfasser aufgestellte Formel von allgemeiner Gültigkeit erläutert.

In Abb. 1 sind für eine bestimmte Rauhigkeitsgruppe, d. h. für verschiedene Materialien von ungefähr gleicher Rauhigkeit, sowohl für offene Gerinne mit fester Wandung als auch für geschlossene Leitungen die aus Messungen (experimentell) ermittelten c-Werte in Form von kleinen Kreisen, Dreiecken usw. als Funktion des Profilradius aufgetragen; in den Formeln (1) bis (7) und (12) bis (17) ist ja c immer vom Profilradius R bzw. vom Rohrdurchmesser D abhängig. Von Wert sind in erster Linie die systematischen Versuchsreihen mit jeweils dem gleichen Wandungsmaterial (z. B. Sitterstollen Nr. 32 bis 36 bei verschiedenem Füllungsgrad, Rohrserie von *Fanning*, Holzgerinne von *Bazin* bei verschiedener Wassertiefe). In dieser Abbildung sind die nach den verschiedenen Formeln berechneten c-Linien eingetragen. Vergleicht man den Verlauf dieser Linien, die über einen sehr weiten Bereich von R, nämlich zwischen $R =$ ca. 0,03 und 4 m gezogen sind, so ergibt sich folgendes:

1. Die Formeln von *Bazin*, *Scobey* und *Köchlin* haben verhältnismäßig enge Geltungsbereiche für bestimmte Werte ihrer Rauhigkeitskoeffizienten, oder mit andern Worten, für dieselbe gegebene Wandrauhigkeit muß man, um richtig zu rechnen, bei gleicher Wandbeschaffenheit verschiedene Größen der Koeffizienten ε, k_4 bzw. k_6 einsetzen, je nachdem es sich um kleinere oder größere Profilradien handelt.

2. In den Formeln von *Gauckler* (1b), von *Ganguillet-Kutter* (2) und *Forchheimer* (6) können jedoch für weite Bereiche von R (von ca. 0,10 bis 1,0 m) bzw. von D (von 0,4 bis 4,0 m) bei ein und derselben Rauhigkeit auch dieselben Rauhigkeitskoeffizienten k_2, n, k_3 verwendet werden. Die alte Formel von *Ganguillet-Kutter* hat ihre Beliebtheit

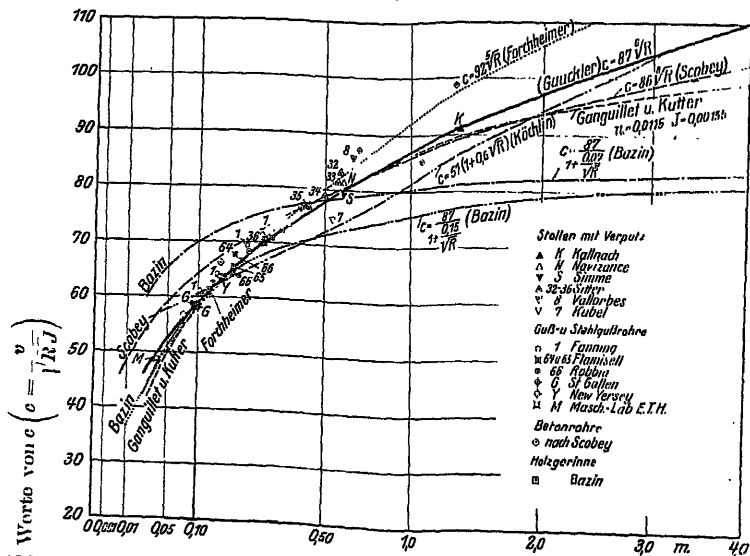


Abb. 1. Vergleich der Geschwindigkeitsformel $v = kR^{2/3}J^{1/2}$ oder $c = k\sqrt[6]{R}$ mit Messungen und anderen Formeln

offensichtlich diesem weiten Geltungsbereich zu verdanken, trotz ihrem komplizierten Bau. Daß die ältere und mindestens für ebenso weiten Geltungsbereich genaue *Gaucklersche* Formel (1b) sich in Europa nicht dasselbe Zutrauen der Ingenieure erworben hat, liegt wohl daran, daß *Gauckler* selbst ihre Anwendbarkeit auf Gefälle über 0,0007 beschränkt erklärt hat; für kleinere Gefälle, für welche er einen andern Aufbau empfahl, standen ihm offenbar zu wenig oder zu wenig zuverlässige Meßresultate zur Verfügung. Nachdem solche heute in großer Menge vorliegen, hat sich gezeigt, daß die Formel (1b)

$$c = k_2 R^{\frac{1}{6}} \quad \text{oder} \quad v = k_2 R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

allgemein mit genügender Genauigkeit verwendet werden kann für Profilradien über ca. 0,05 m. Die aus neuester Zeit stammende *Forchheimersche* Formel

$$c = k_4 R^{\frac{1}{5}} \quad \text{oder} \quad v = k_4 R^{0,7} J^{0,5},$$

die sich steigender Beliebtheit erfreut, ist ja auch nur ganz wenig verschieden von der *Gauckler*schen. Letztere ist in der Handhabung noch etwas einfacher, indem auf dem Rechenschieber die Potenz $\frac{2}{3}$ leichter berechnet werden kann als die Potenz 0,7.

In Abb. 1 sind nur Messungen für feste Wandungen bei einem einzigen Rauhigkeitsgrad dargestellt, nämlich $k_2 = 87$ oder $n = 0{,}0115$ oder $k_3 = 92$, d. h. für Beton mit Zementverputz, neue gußeiserne Rohre, Stahlgußrohre, ungehobelte Bretter. Für andere Rauhigkeitsgrade (z. B. Bruchsteinmauerwerk oder unverputzter Beton bei $k =$ ca. 50 bis 60) ergibt sich ungefähr dasselbe Bild; es zeigt sich dabei nichts Neues, weshalb mit Rücksicht auf den Umfang dieses Berichtes von entsprechenden Darstellungen abgesehen werden soll.

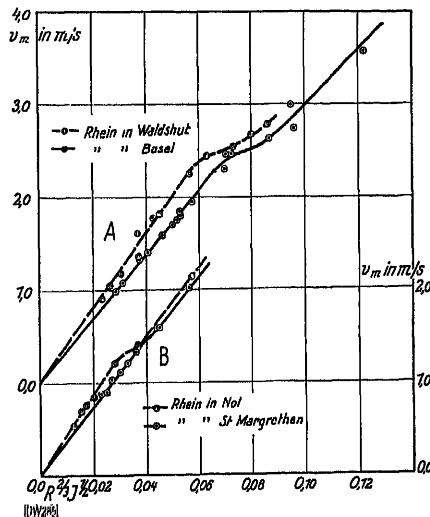


Abb. 2.

Die vom Polnischen Nationalkomitee empfohlene Formel (8) von *Matakiewicz* für Gerinne mit festen Wandungen

$$v = A\,R^{0,7}\,J^m$$

ist von grundsätzlich anderer Bauart als die bisher genannten, indem die Rauhigkeitsziffer m nicht als Faktor, sondern als Exponent des Gefälles auftritt. Der Wert m ist aber nach den Angaben des Verfassers dieser Formel in vielen Fällen selbst wieder eine Funktion des Gefälles J, z. B. $m = 0{,}355 - 13\,J$ oder $m = 0{,}37 - J^{\frac{1}{2}}$ usw. Infolge dieses Umstandes, welcher eine praktische Anwendung nicht erleichtert, werden die meisten Wasserbauingenieure die *Gauckler*sche oder *Forchheimer*sche Formel vorziehen.

In den Abb. 2 und 3 sind Messungen an natürlichen Gewässern mit beweglicher Sohle dargestellt. In Abb. 2 sind die experimentell ermittelten mittleren Geschwindigkeiten v als Funktion des Wertes $R^{\frac{2}{3}}\,J^{\frac{1}{2}}$

aufgetragen. Wenn die *Gauckler*sche Formel auch in diesen Fällen anwendbar sein soll, müssen die einzelnen Punkte einer Reihe in einer Geraden liegen; die Neigung der letzteren zur Abszissenachse stellt dann den Koeffizienten k_2 dar. Eine durchgehende Proportionalität der v-Werte zu den $R^{\frac{4}{3}} J^{\frac{1}{2}}$-Werten besteht jedoch in den 4 typischen, in Abb. 2 dargestellten Fällen nicht, sondern es ist ein Übergang von einem „unteren Zustand“ (kleinere v, größeres k_2) in einen „oberen Zustand“ (größere v, kleineres k_2) zu konstatieren. Unterhalb dieses Überganges ist der Verlauf der v-Linie ein gerader, oder mit andern Worten, der k_2-Wert ist in diesem Bereich konstant für ein und denselben Flußquerschnitt, und die *Gauckler*sche Formel ist anwendbar. Der Übergang zum

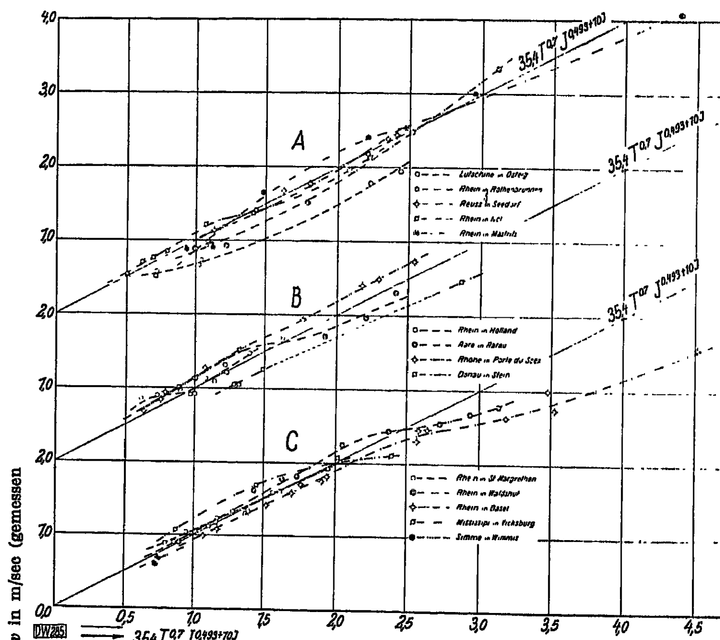


Abb. 3.

kleineren k_2-Wert tritt bei derjenigen Strömungsgeschwindigkeit ein, bei welcher die Sohle des Flusses infolge Überschreitung der Grenzschleppkraft in Bewegung gerät; dadurch wird die Rauhigkeit des Bettes gesteigert. Diese bekannte Tatsache drückt sich natürlich auch im Rauhigkeitskoeffizienten jeder andern Formel aus.

Näheres und weitere Beispiele hierüber sind in: „Mitteilung Nr. 16 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft“, S. 9, enthalten.

Diese Untersuchungen des Verfassers haben gezeigt, daß auch für Gerinne mit beweglicher Sohle die *Gauckler*sche Formel (1b) für den praktischen Gebrauch die geeignetste ist. Ihre Anwendung setzt natürlich die Kenntnis des Koeffizienten k_2 voraus, der durch Messungen des

Profiles, des Gefälles und der Wassermenge bzw. Wassergeschwindigkeit ermittelt werden muß, und zwar in beiden Zuständen, in demjenigen mit ruhendem und in dem mit bewegtem Geschiebe.

In Abb. 3 sind von einigen Meßreihen die gemessenen Geschwindigkeiten als Funktion von $35,4\,T^{0,7}\,J^{0,493+10J}$ aufgetragen. Die Punkte müßten sich gemäß der Formel (10) nahe um die theoretischen Geraden gruppieren; die Abweichungen sollten nur durch die zufälligen Fehler oder Meßungenauigkeiten begründet sein. Betrachtet man jede Meßreihe für sich, so erkennt man, daß der abweichende Verlauf nicht durch die zufälligen Fehler bedingt, sondern grundsätzlicher Natur ist. In erster Linie ersieht man auch aus dieser Darstellung wie aus Abb. 2 den typischen Verlauf der Geschwindigkeiten in einer unteren Zone bei ruhendem Geschiebe und in einer oberen Zone bei bewegter Sohle. (Bei einigen Meßreihen fehlt die obere Zone, weil aus dieser keine Messungen vorliegen.) Dieser Eigenschaft trägt die Formel (10) nicht genügend Rechnung und kann dies auch nicht. Qualitativ sind somit die v-Linien der Abb. 3 nur im großen Gesamtdurchschnitt durch die Gerade $34,5\,T^{0,7}\,J^{0,493+10J}$ ersetzbar. Außerdem aber liegen viele der Meßreihen so weit unterhalb oder oberhalb der durch die Formel (10) gegebenen geraden Linie, daß die Formel in vielen Fällen Geschwindigkeitswerte von ungenügender Genauigkeit ergibt. Es kann wohl nicht angenommen werden, daß die systematischen Meßfehler dieser Meßreihen 20% und mehr erreichen. Wohl ist bei sehr kleinen Gefällen eine genaue Gefällsmessung anerkanntermaßen schwierig; bei den großen bis sehr großen Gefällen mehrerer in Abb. 3 dargestellter Meßreihen ist dies jedoch ausgeschlossen; namentlich bei den von schweizerischen Flüssen stammenden Meßreihen hat das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (früher unter dem Namen „Hydrometrisches Bureau" oder „Eidg. Landeshydrographie") mit größter Sorgfalt die Gefälle ermittelt. Selbstverständlich könnte eine große Zahl von weiteren Meßresultaten beigebracht werden, welche vom Wert, der der Ausgleichsgeraden $35,4\,T^{0,7}\,J^{0,493+10J}$ entspricht, nur wenig abweichen, während die Zahl der möglichen Beispiele mit großer Abweichung geringer ist. Dies liegt aber in der Natur der Sache und spricht nicht für eine genügende Genauigkeit der Formel (10) oder gegen die Genauigkeit der Meßreihen mit großer Abweichung von Formel (10).

Im übrigen haben die meisten Wasserbauingenieure die Erfahrung gemacht, daß bei zwei verschiedenen Flußquerschnitten, von zufällig gleichem Gefälle und Profilradius, verschiedene mittlere Geschwindigkeiten vorhanden sein können, weil eben die Bettrauhigkeiten in diesem Fall nicht notwendigerweise gleich sein müssen, wie dies von den Autoren der Formeln ohne variable Rauhigkeitskoeffizienten vorausgesetzt wird.

Dies ist aus folgenden Beispielen ersichtlich, in denen für einige Gruppen mit jeweils ungefähr gleichen Gefällen und Profilradien die Geschwindigkeiten angegeben sind, wie sie sich aus den Meßreihen, und zwar ausgeglichen, also nicht mit wesentlichen Meßfehlern behaftet, ergeben (aus den Linien in Abb. 3).

		T	J	$34{,}5\,T J^{0{,}493+10J}$		v aus Messungen	k_2
1.	Lütschine bei Gsteig ...	1,28	0,00565	2,437	2,50	2,07	23
	Rhein bei Rothenbrunnen	1,41	0,00496	2,516		2,44	28
2.	Lütschine bei Gsteig ...	0,482	0,00317	1,036	1,10	0,73	23
	Reuß bei Seedorf	0,523	0,00348	1,130		1,10	31
3.	Rhein bei Mastrils	0,873	0,000856	0,934	0,94	ca. 0,8	31
	Rhein bei St. Margrethen .	0,885	0,00087	0,944		1,02	38
4.	Aare bei Aarau	2,33	0,00129	2,211	2,20	2,02	32,5
	Rhone bei Porte du Scex	2,88	0,00091	2,182		2,40	40
5.	Rhein bei Basel........	3,55	0,00092	2,568	2,55	2,35	33
	Rhone bei Porte du Scex	3,50	0,000918	2,540		2,72	40
6.	Donau bei Stein	2,37	0,00039	1,314	1,32	1,05	30
	Donau bei Linz........	2,28	0,00042	1,32		1,28	36
7.	Donau bei Linz........	2,43	0,00042	1,88	1,38	1,33	36
	Rhein bei Kaiserstuhl ...	2,52	0,000405	1,39		1,52	41,5
8.	Donau bei Stein	2,83	0,000392	1,487	1,45	1,20	30
	Rhein bei Waldshut....	2,86	0,00036	1,435		1,52	38
9.	Rhein bei Nol	3,41	0,00015	1,073	1,07	1,18	43
	Rhein in Holland	2,64	0,00022	1,078		1,07	38
10.	Wolga bei Zyguli	9,12	0,000022	0,844	0,85	0,802	39
	Mississippi bei Vickburg .	7,49	0,000022	0,870		1,07	51,0

Die Formel (10) setzt voraus, daß folgende Beziehung besteht zwischen Gefälle und Bettrauhigkeit:

bei $J = 0{,}00005$ 0,0005   0,001   0,003   0,005
$k_2 =$ ca. 39   ca. 36   ca. 35   ca. 31   ca. 29

Aus den Beispielen, die oben angeführt sind, ist aber ersichtlich, daß bei jedem der hier herausgegriffenen Gefälle noch andere Rauhigkeitsgrade in der Natur vorkommen, und zwar ist die Variationsbreite *mindestens* folgende:

für $J = 0{,}00005$ 0,0005   0,001   0,003   0,005
$k_2 =$ ca. 39—50   ca. 30—41   ca. 30—40   ca. 23—31   ca. 23—29

Hieraus dürfte hervorgehen, daß eine streng eindeutige Beziehung zwischen Gefälle und Bettrauhigkeit, wie sie in den Formeln ohne variable Rauhigkeitsziffern vorausgesetzt wird, nicht besteht. Wohl scheint die Natur diesen Zustand (Gleichgewichtszustand des Flusses) *anzustreben*; in vielen Fällen hat sie ihn im Mittel ungefähr erreicht; in anderen Fällen, die allerdings weniger zahlreich sind, ist sie noch weit davon entfernt (z. B. im Erosionszustand oder bei Aufladungstendenz). Greifen wir beispielsweise die Gruppe 5 der obigen Tabelle heraus, so ist folgendes zu sagen: die Rhone bei Porte du Scex (oberhalb der Einmündung in den Genfer See) hat ein Bettmaterial, das wesentlich feiner ist ($k_2 = 40$), als normalerweise dem ziemlich großen Gefälle von nahezu 1 ‰ entsprechen würde; der Grund hierfür dürfte darin zu suchen sein,

daß die Rhone sehr viel feinen Gletschersand aus den stark vergletscherten Einzugsgebieten mit sich führt; die Strecke bei Porte du Scex unterliegt somit Einflüssen, die nicht von ihren Gefällsverhältnissen allein abhängig sind, sondern ihren Ursprung ganz woanders haben. Der Rhein bei Basel (ebenfalls Gruppe 5) hat umgekehrt ein gröberes Bettmaterial, als bei dem Gefälle von ebenfalls ca. 1 $^0/_{00}$ zu erwarten wäre, oder mit anderen Worten: das Gefälle ist kleiner, als dem Bettmaterial nach Formel (10) entsprechen würde. Dabei hat der Rhein in Basel trotzdem die Tendenz, sein Bett zu vertiefen; die Erosion schreitet vom Unterstrom her aufwärts, und das Resultat ist zunächst eine Zunahme des Gefälles in Basel. Diese Erosion ist aber andererseits nur darum möglich, weil der Rhein von oberhalb Basel her sehr wenig Geschiebe mitbringt. Die Bett- und Gefällsverhältnisse bei Basel sind daher, wie bei der Rhone bei Porte du Scex, von Faktoren mitbestimmt, die in weit entfernten Stromstrecken ihren Sitz haben, oder mit anderen Worten: Gefälle und Bettrauhigkeit einer kurzen Teilstrecke sind nicht immer gegenseitig voneinander allein abhängig, wie dies in Formel (10) vorausgesetzt wird.

Die Formel (10) ohne Rauhigkeitskoeffizient wird vom praktischen Wasserbauingenieur zur Gewinnung eines Anhaltpunktes verwendet werden können, wenn die wirkliche Bettrauhigkeit ganz unbekannt ist. Da aber ihr Ergebnis in gewissen Fällen allzu stark von der wirklichen Geschwindigkeit abweichen kann, wird man vor der Ausführung von flußbaulichen Arbeiten etwelcher Bedeutung die bescheidenen Kosten der experimentellen Ermittlung der Rauhigkeitskoeffizienten nicht scheuen, und daraufhin mit Vorteil die *Gauckler*sche Formel anwenden.

5. Allgemein gültige Formel

Im vorangegangenen Abschnitt sind die Verhältnisse für diejenigen Gebiete behandelt worden, die für den Wasserbauingenieur von besonderem Interesse sind, d. h. die Untersuchungen wurden vorerst beschränkt auf nicht zu kleine Dimensionen ($R >$ ca. 0,05 m). Es erhebt sich aber die Frage, wie die Verhältnisse bei ganz kleinen Dimensionen ($R <$ 0,05 m) sich gestalten. Dieses Gebiet interessiert zwar den Wasserbauingenieur im allgemeinen weniger, soweit es die praktischen Bauobjekte betrifft; dagegen spielen für ihn die Untersuchungen in Wasserbaulaboratorien an Modellen in kleinem Maßstab eine je länger je wichtigere Rolle, so daß aus diesem Grunde eine Ausdehnung der vorliegenden Studie auf dieses Gebiet kleinster Dimensionen geboten erscheint, um so mehr, als dadurch eine einheitlichere Auffassung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse gewonnen werden kann.

Zu diesem Zweck sind in Abb. 4 zwei ausgewählte Messungen von *Saph* und *Schoder* an einem gezogenen Messingrohr von 16 mm Durchmesser dargestellt. Hier ist der Wert J/v als Funktion der Geschwindigkeit v aufgetragen; daraus läßt sich der *Chézy*sche Wert c aus der Gleichung

$$v = c\sqrt{RJ}$$

ohne weiteres ableiten. Dieser Verlauf der J/v-Linie ist für alle vorhandenen Untersuchungen an Rohren mit kleinem Durchmesser charakteristisch und führte den Verfasser des vorliegenden Berichtes im Jahre 1923 in der Publikation des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft[3] zur Aufstellung einer allgemein gültigen Gleichung für den Gefälls- oder Druckverlust der turbulenten Strömung, welche sich im dargestellten Beispiel der Abb. 4 für Geschwindigkeiten oberhalb ca. 0,15 m/s (= der

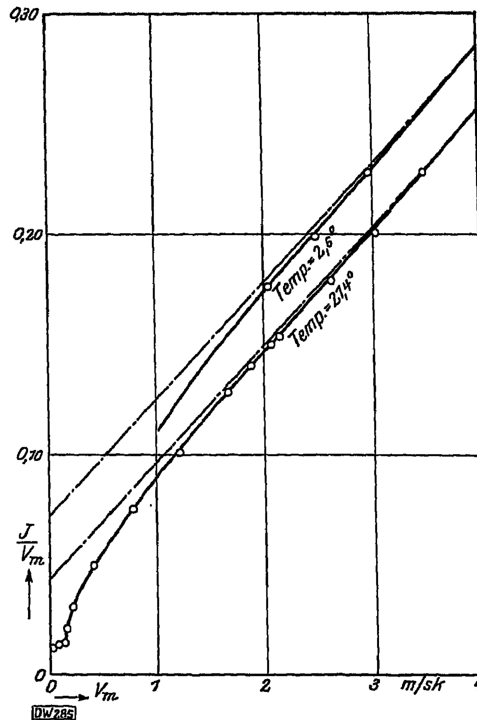


Abb. 4. Versuche über Druckverluste von *Saph* und *Schoder*.
Gezogenes Messingrohr D = 0,016 m.

„kritischen Geschwindigkeit“ v_k) einstellt. Unterhalb dieses Grenzwertes besteht Laminarströmung (geradlinige Bewegung der einzelnen Wasserfäden), für welche die *Newton*sche Theorie ergibt:

$$J = \frac{2\,\eta}{\gamma\,R^2}\,v\ ^4.$$

Für den Bereich der turbulenten Strömung (oberhalb der kritischen Geschwindigkeit) lautet die Gleichung des Verfassers:

$$J = \frac{(v^2 - v_k^2)}{k^2\,R^{\frac{4}{3}}} + \frac{2\,\eta}{\gamma\,R^2}\,v + \frac{(\pi - 1)\,2\,\eta}{\gamma\,R^2}\,(v - v_k)\,. \qquad (15)$$

[3] „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen.“

[4] η = Koeffizient der Viskosität (in kg s/m²), γ = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit (in kg/m³).

Diese dreigliedrige Formel kann auf eine zweigliedrige reduziert werden, wenn die mittlere Geschwindigkeit v gegenüber der kritischen v_k so groß ist, daß letztere der ersteren gegenüber vernachlässigt werden kann[5].

Die abgekürzte Näherungsgleichung lautet dann:

$$J = \frac{v^2}{k^2 R^{\frac{4}{3}}} + \frac{2\pi\eta}{\gamma R^2} v . \tag{16}$$

(Dividiert man beiderseits durch v, so ergibt sich $J/v = \frac{v}{k^2 R^{\frac{4}{3}}} + \frac{2\pi\eta}{\gamma R^2}$, d. h. diese Gleichung entspricht der in Abb. 4 strichpunktierten Asymptoten der hyperbelförmigen J/v-Kurve für $v > v_k$.)

Das erste Glied der Gleichung (16) stellt den Energieverlust infolge Turbulenz dar; der k-Wert ist charakteristisch für den Grad der Wandrauhigkeit; diese ist bestimmend für die Stärke der Turbulenz und des dadurch verursachten Energieverlustes. Der k-Wert ist unabhängig von den Eigenschaften der Flüssigkeit; sowohl bei Durchfluß von Wasser als auch von Dampf, Preßluft, Gas ist er bei einem gegebenen Rohrmaterial konstant. Das zweite Glied der Gleichung stellt den Energieverlust infolge innerer Reibung der Flüssigkeit (Viskosität) dar. Dieser Anteil ist aber im Grenzfall, d. h. wenn in Abb. 4 die J/v-Kurve praktisch mit der Asymptote zusammenfällt, πmal so groß wie der Verlust bei Laminarströmung. Dieses empirische Untersuchungsergebnis steht offenbar im Zusammenhang mit dem Umstand, daß bei turbulenter Bewegung die einzelnen Wasserteilchen größere Reibungswege zurücklegen als bei laminarer Strömung.

Multipliziert man die Hauptgleichung (16) mit dem spezifischen Gewicht γ der Flüssigkeit, so erhält man den Ausdruck für den Pressungsverlust pro Meter Rohrlänge

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\gamma}{k^2 R^{\frac{4}{3}}} v^2 + \frac{2\pi\eta}{R^2} v . \tag{17}$$

Diese auf empirischem Wege gefundene Gleichung entspricht in ihrem allgemeinen Aufbau der formalen Gleichung, die von Prof. *H. A. Lorentz* (Leiden) auf Grund theoretischer Untersuchungen über die Turbulenz aufgestellt wurde[6]; sie erfüllt daher auch die Forderung eines wissenschaftlich richtigen Aufbaues. Aus ihr können ohne weiteres die eingliedrigen Formeln in Potenzform als Näherungswerte für beschränkte Gültigkeitsbereiche abgeleitet werden. Z. B. stellt sich die Formel (13) von *Flamant* und *Blasius*, die auch durch die Versuche von *Saph* und *Schoder* an gezogenen Messingrohren im Bereich

$$D = 0{,}01 \text{ bis } 0{,}04 \text{ m}$$

und

$$v = 1 \text{ bis } 4 \text{ m/s}$$

bestätigt wurde, als nichts anderes als eine näherungsweise Zusammenziehung der beiden Glieder unserer Hauptgleichung (16) in ein einziges heraus.

[5] Dies ist praktisch der Fall, wenn bei Wasser von einer Temperatur von 15° C der Wert $R\,v \geqq 0{,}01\ \text{m}^2/\text{s}$ ist.

[6] [illegible] über theoretische Physik (Leipzig 1907)." — Vgl. Prof. *Prasil*: Techn. [illegible] Auflage.

Ferner können die beiden Glieder im Falle von schmiedeeisernen (nicht genieteten) Rohren mit $k =$ ca. 130 von kleinerem bis mittlerem Durchmesser im Bereich $D = 0{,}10$ bis $0{,}40$ m

$$v = 0{,}5 \quad \text{bis} \quad 4 \text{ m/s}$$

in folgender Weise zusammengezogen werden:

$$J = \lambda \frac{v^{1{,}90}}{R^{1{,}40}} \quad \text{oder} \quad v = k^1 R^{0{,}735} \cdot J^{0{,}525}.$$

Bei noch etwas größerer Rauhigkeit, $k = 87$, und im Bereich

$$R v \geqq 0{,}2 \text{ m}^2/\text{s}$$

wird das in v lineare Glied unserer Hauptgleichung so klein, daß es ganz vernachlässigt werden darf neben dem 1. Glied, so daß sich ergibt:

$$J = \frac{v^2}{k^2 R^{\frac{4}{3}}} \quad \text{oder} \quad v = k R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}},$$ d. h. die *Gauckler*sche Gleichung,

welche sich für das eigentliche Anwendungsgebiet des Wasserbaues bereits als am zweckmäßigsten herausgestellt hat.

Löst man Gleichung (16) nach v auf, so ergibt sich

$$\left.\begin{aligned} v &= \sqrt{k^2 R^{\frac{4}{3}} J + \left(\frac{\pi \eta k^2}{\gamma R^{\frac{2}{3}}}\right)^2} - \frac{\pi \eta k^2}{\gamma R^{\frac{2}{3}}}, \\ c &= \sqrt{k^2 R^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{\pi \eta}{\gamma}\right)^2 \frac{k^4}{R^{\frac{7}{3}} J}} - \frac{\pi \eta k^2}{\gamma R^{\frac{7}{6}} J^{\frac{1}{2}}}. \end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

Dem praktischen Gebrauch kann folgende Tabelle dienen:

für Wasser bei einer Temperatur von:	0°	5°	10°	15°	20°
ist der Wert $\frac{\eta}{\gamma} =$	$\frac{0{,}182}{10^6}$	$\frac{0{,}155}{10^6}$	$\frac{0{,}134}{10^6}$	$\frac{0{,}117}{10^6}$	$\frac{0{,}103}{10^6}$

6. Ermittlung der Größe des Koeffizienten k_2

Nachdem im Abschnitt 4 für Berechnungen im Wasserbau die Anwendung einer einheitlichen Form des *Chézy*schen Wertes empfohlen worden ist, nämlich

$$c = k_2 \cdot \sqrt[6]{R},$$

soll im vorliegenden Abschnitt noch einiges beigefügt werden über die Ermittlung des Koeffizienten k_2 oder k, welch letzterer sich nach den gemachten Darlegungen als eine wirkliche Konstante der jeweiligen Oberflächenbeschaffenheit erwiesen hat.

Es gibt verschiedene Arten der praktischen Bestimmung des k_2-Wertes. Einmal liegt es, allerdings nur theoretisch, im Bereich der Möglichkeit, diesen Wert als Funktion einer linearen Größe, z. B. der Höhe der Unebenheiten darzustellen, so daß sich die Ermittlung von k_2 auf eine Messung dieser linearen Größe zurückführen läßt. Der Verfasser hat in seiner Studie[7] diese Möglichkeit gezeigt, wonach für natürliche

[7] „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen."

Wasserläufe mit Kiesbett

$$k_2 = \text{ca.}\,\frac{21}{\sqrt[6]{\varrho}},$$

worin ϱ den „mittleren Durchmesser" der Geschiebeteile bedeutet; damit wäre $c = \text{ca.}\,21 \cdot \sqrt[6]{\frac{R}{\varrho}}$, d. h. umgekehrt proportional der 6. Wurzel aus der „relativen Rauhigkeit" $\frac{\varrho}{R}$. Nun ist aber die Ermittlung eines Durchschnittwertes eine unsichere Sache, da im selben Flußquerschnitt Kiesel von den kleinsten bis zu großen Dimensionen vorkommen.

Als praktisch brauchbare Methode der k-Wertbestimmung existiert heute nur die experimentelle Ermittlung des Gefälles des wasserführenden Querschnittes (und daraus des Profilradius und der mittleren Wassergeschwindigkeit; daraus läßt sich der k-Wert gemäß Gleichung (16) berechnen aus

$$k = \frac{v}{R^{\frac{2}{3}} \sqrt{J - \frac{2\pi\eta v}{\gamma R^2}}}$$

oder, abgekürzt, wenn Dimensionen und Geschwindigkeiten groß genug sind, aus

$$k_2 = \frac{v}{R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}}.$$

Bei Untersuchung des Rauhigkeitsgrades an Hand von Modellversuchen bei kleinen Dimensionen empfiehlt sich unbedingt die erstere, genaue Form.

In der Diskussion anläßlich der Baseler Sondertagung (1. Bd., S. 968) wurde darauf hingewiesen, daß die Erhöhungen (Unebenheiten) der Wandungen sehr verschiedenen Charakter haben, spitz oder abgerundet sein können, daß sich die Rauhigkeit mit der Zeit ändern kann (Veränderung eines evtl. Anstriches, Ablagerungen) usw. Um alle diese Einflüsse erfassen zu können, scheint heute nur die eine, bereits erwähnte Ermittlung des k_2-Wertes aus direkten Messungen des Gefälles, des Querschnittes und der Wassergeschwindigkeit zum Ziele zu führen.

Für angenäherte hydraulische Berechnungen wird daher die nachfolgende Tabelle mit gruppenweiser Angabe der k_2- bzw. k-Werte dienen.

Handelt es sich um Projektberechnungen, für welche infolge großer wirtschaftlicher Tragweite eine gesteigerte Genauigkeit verlangt wird, so empfiehlt sich die besondere vorherige Ermittlung der Rauhigkeit an einem Modell mit genau gleicher Ausführung der Wandung, wie sie am Bauobjekt vorgesehen ist, unter möglichster Berücksichtigung der zu erwartenden Alterseinflüsse (Ablagerungen, chemische Veränderungen usw.). Bei Flüssen empfiehlt sich die Ermittlung der k_2-Werte in einer Reihe von über die ganze in Betracht fallende Strecke verteilten Querschnitten, sowie bei verschiedener Wasserführung, wobei insbesondere auf eine exakte Gefällsmessung Bedacht genommen werden muß.

Bett- bzw. Wandungsbeschaffenheit	k_2 bzw. k [8]
Geschiebe aus kopfgroßen Steinen	ca. 25 bis 30
Grober Kies (ca. 50/100/150 mm)	„ 35
Mittlerer Kies (ca. 20/40/60 mm)	„ 40
Feiner Kies (ca. 10/20/30 mm)	„ 45
Feiner Kies mit viel Sand	„ 50
Grobes Bruchsteinmauerwerk	„ 50
Gutes Bruchsteinmauerwerk Gut geschalter Beton, unverputzt	„ 60
Hausteinquader; gut gefügte Ziegel	„ 80
Beton mit Zementverputz Holzbretter, ungehobelt Neue gußeiserne Rohre Stahlgußrohre	„ 85 bis 90
Glattstrich von reinem Zement Gehobelte Bretter	„ 100
Gasrohre, verzinkte Rohre	„ 125 bis 135

Résumé

1. D'une manière générale, on peut recommander, en hydraulique, l'emploi de la formule de *Gauckler* (admise aussi par *Hagen* et *Manning*):

$$v = k_2 R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

comme l'une des formules d'approximation les plus simples, pour le calcul de la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans les rivières, les canaux et les conduites. En introduisant cette dernière dans la formule de *Chézy*:

$$v = c\sqrt{R \cdot J}$$

on obtient pour le coëfficient c l'expression

$$c = k_2 \sqrt[6]{R}$$

dans laquelle R désigne le rayon moyen du profil et k_2 une constante dépendant de la rugosité du lit ou des parois.

2. La formule de *Gauckler* peut être considérée comme l'expression simplifiée ou réduite d'une formule plus exacte, établie par l'auteur et applicable de façon plus générale (elle tient compte de l'influence de la viscosité), dont la formule est

$$J = \frac{v^2}{k^2 R^{\frac{4}{3}}} + \frac{2\pi\eta}{\gamma R^2} v .$$

On en déduit la formule de *Gauckler* en négligeant le dernier terme de l'équation et en tirant la valeur v de l'égalité restante. Cette simplification entraîne une erreur minime (de 1 à 2% environ) lorsque $Rv \geqq 0{,}2\ \mathrm{m^2/s}$ (par ex. pour $R \geqq 0{,}1$ m, $v \geqq 2$ m/s). L'usage de la formule générale est à recommander pour les travaux de précision sur modèles de laboratoire ou lorsqu'il s'agit de canaux ou tuyaux de petites dimensions dans lesquels l'eau n'atteint pas de grandes vitesses.

3. La méthode pratiquement la meilleure et la plus sûre en vue de déterminer la valeur numérique des coëfficients k ou k_2, pour des parois de canaux et de tuyaux ou des lits de rivières, consiste à déterminer expérimentalement la chute, le rayon moyen du profil et la vitesse moyenne de l'eau, puis à déduire k ou k_2 de l'une ou l'autre des deux formules:

$$k = \frac{v}{R^{\frac{2}{3}} \sqrt{J - \frac{2\pi\eta v}{\gamma R^2}}} \quad ou \quad k_2 = \frac{v}{R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}} .$$

[8] Werte im metrischen Maßsystem (ms); k hat die Dimension $m^{1/3}\,s^{-1}$.

Nr. 181

Österreich

Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne mit starken Neigungen (Schußtennen) und Berechnung der Selbstbelüftung des Wassers

Österreichisches Nationalkomitee

Ing. R. Ehrenberger

Die heute gebräuchlichen Formeln zur Berechnung der mittleren Profilgeschwindigkeiten in natürlichen oder künstlichen Wasserläufen weisen hinsichtlich der Gefälle (J) einen verhältnismäßig beschränkten Geltungsbereich auf. Im allgemeinen kann die obere Grenze der Gefälle, bis zu welcher diese Geschwindigkeitsformeln noch mit Erfolg angewendet werden dürfen, mit höchstens 10 bis 15 ‰ angenommen werden. Im Falle wesentlich größerer Gefälle, bzw. Geschwindigkeiten, übt der Reibungswiderstand zwischen Wasser und äußerer Luft eine mehr oder weniger stark abbremsende Wirkung aus, die ein Ansaugen von Luftbläschen in das Innere des Wassers und somit die Erzeugung eines Wasserluftgemisches zur Folge hat. Diese Erscheinung, die man Selbstbelüftung des Wassers nennt, ist somit als eine selbsttätige Energieverzehrung aufzufassen, der bei der Errichtung von Wasserkraftanlagen, wie weiter unten gezeigt werden wird, eine gewisse Bedeutung zukommt.

Zweck der Untersuchungen und Versuchsanordnung

Zur Vernichtung, bzw. Umwandlung der Energie des aus den Wasserschlössern von Hochdruckwasserkraftanlagen abstürzenden Überfallwassers benützt man vielfach treppenförmig angeordnete Tosbecken (Kaskadenüberfälle). Die starken Erschütterungen, denen solche Anlagen ausgesetzt sind, sowie die großen Baukosten zeitigten den Gedanken, das Überfallwasser durch einfache, steile, künstliche Gerinne (Schußtennen) in das Wildbett abzuleiten. In Österreich kam eine solche Schußtenne größeren Maßstabes erstmalig beim Ruetzwerk (Tirol) zur Ausführung. Die guten Erfahrungen, die hier gemacht wurden, veranlaßte die österreichischen Bundesbahnen, für das geplante Mallnitzwerk dieselbe Art der Wasserableitung in Aussicht zu nehmen.

Der Umstand jedoch, daß man über die Gesetzmäßigkeit der Fließbewegung des Wassers in solchen Rinnen mit starkem Gefälle noch gänzlich im unklaren war, ließ die Klärung dieser und der damit zusammenhängenden Frage der Selbstbelüftung des Wasser im Wege des Versuches als dringend notwendig erscheinen.

Die im Auftrag des Elektrifizierungsamtes der österreichischen Bundesbahnen in der Versuchsanstalt für Wasserbau im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Wien) vom Verfasser durchgeführten Versuche bezweckten daher, die Aufstellung einer für große Sohlenneigungen (bis über 700 $^0/_{00}$) gültigen Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne. Gleichzeitig wurde der Versuch unternommen, die Abhängigkeit der mittleren Profilbelüftung (ausgedrückt durch das Verhältnis des Wasseranteiles am gesamten Wasserluftgemisch) vom Gefälle und Profilradius festzulegen.

Zur Durchführung der Versuche stand eine Holzrinne mit rechteckigem Querschnitt (Sohlenbreite $b = 0{,}25$ m) zur Verfügung, die aus

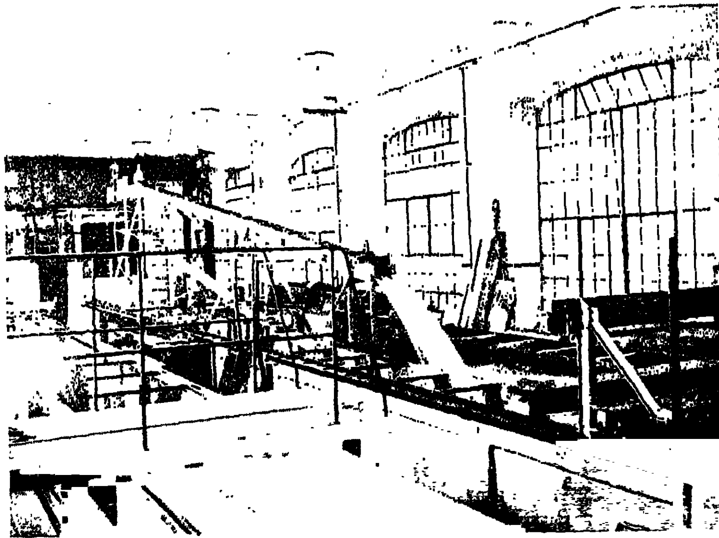


Abb. 1. Gesamtansicht der Versuchsanordnung.

mehreren Teilstücken bestand und direkt an den Hochbehälter angeschlossen war (Abb. 1). Die Versuche wurden bei 5 verschiedenen Rinnenneigungen[1] durchgeführt (Versuchsreihe I bis V), wobei die Sohlgefälle folgende Werte aufwiesen: $J = 155$, 206, 320, 495 und 762 $^0/_{00}$. Die Länge der Versuchsrinne betrug beim kleinsten Gefälle (V.R. I) 16 m, beim größten (V.R. V) 5,50 m. Diese Längen reichen im allgemeinen vollkommen aus, um am unteren Ende derselben noch mit Sicherheit gleichförmige Bewegung erwarten zu dürfen. Bei jeder der 5 Versuchsreihen kamen Wassermengen von $Q = 10$, 20, 31 und 44,5 l/s zum Abfluß.

Es sei gleich hier vorweg bemerkt, daß die Ermittlung der mittleren Profilgeschwindigkeiten auf grundsätzliche Schwierigkeiten stößt, da

[1] Unter dem Gefälle J wird die Tangente des Neigungswinkels der Sohle mit der Horizontalen verstanden. Für die Aufstellung der gesuchten Beziehungen muß jedoch an Stelle der Tangente der der Theorie entsprechende *Sinus* des Neigungswinkels eingeführt werden.

alle in Betracht kommenden Geschwindigkeitsmeßinstrumente wie hydrometrischer Flügel, Meßrad, Pitotröhre usw. auf hydrodynamischer Wirkung unter der stillschweigenden Voraussetzung eines spezifischen Gewichtes der Flüssigkeit von $\gamma = 1$ beruhen. Diese Instrumente wären aber auch dann nicht verwendbar, wenn die Ergebnisse der Eichungen in Wasser von verschieden starker Belüftung vorliegen würden, da das Wasser wie die Versuche ergaben, in verschiedenen Punkten des Querprofiles verschiedene, erst zu ermittelnde Grade der Belüftung aufweist.

Die Selbstbelüftung des Wassers

Eine weitere Schwierigkeit lag in der genauen Festlegung des Wasserspiegels. Während bei kleineren Gefällen (Geschwindigkeiten) die Wasseroberfläche infolge des Luftwiderstandes bloß eine starke Aufrauhung mit bereits losgelösten, parallel zum Wasserspiegel dahinschießenden Wassertropfen aufwies, war bei größeren Geschwindigkeiten infolge des allmählichen Überganges von der Außenluft über das Wasser-

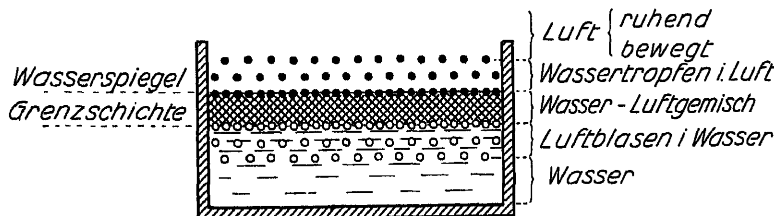


Abb. 2. Schematischer Querschnitt durch die Rinne.

luftgemisch zum reinen Wasser von einem Wasserspiegel im gewöhnlichen Sinne des Wortes überhaupt nicht mehr zu reden. Bei den großen Wassermengen der Versuchsreihe V, bei welcher Oberflächengeschwindigkeiten bis zu 8,50 m/s auftraten, zeigte die Oberfläche des Wassers infolge der vielen mitgerissenen Luft bereits jenes typisch milchigweiße Aussehen, wie es in stärkerem Maße auch in der Natur z. B. am Ruetzleerlauf zu beobachten ist.

Einen schematischen Querschnitt durch das Gerinne gibt die Abb. 2 wieder. Von oben nach unten gehend bemerkt man zuerst Wassertropfen, die in der Luft dahinschießen, hierauf folgt ein Wasserluftgemisch, dann eine Wasserschicht, in welcher einzelne Luftblasen eingeschlossen sind und schließlich längs der Sohle reines, d. h. unbelüftetes Wasser. Bei starken Neigungen (V.R. IV und V) reichte das Wasserluftgemisch bis zur Sohle. Wie aus dieser Beschreibung hervorgeht, ist daher die Begriffsbestimmung Wasserspiegel keineswegs eine eindeutige. Für die Tiefenbestimmung wurde im nachfolgenden als Höhenlage des Wasserspiegels jene Höhe über Sohle angenommen, in welcher die obersten Wassertropfen an die Breitseite eines quer zur Strömungsrichtung in das Gerinne gehaltenen flachen Stabes mit merklicher Wucht aufprallten. Der einfache, zur Aufnahme des Wasserspiegels konstruierte Apparat gestattete die Verschiebung dieses Stabes sowohl

der Höhe, als auch der Breite nach, so daß Längen- und Querprofile aufgenommen werden konnten.

Durch mehrere, seitlich angebrachte Glasfenster, die bis zur Sohle

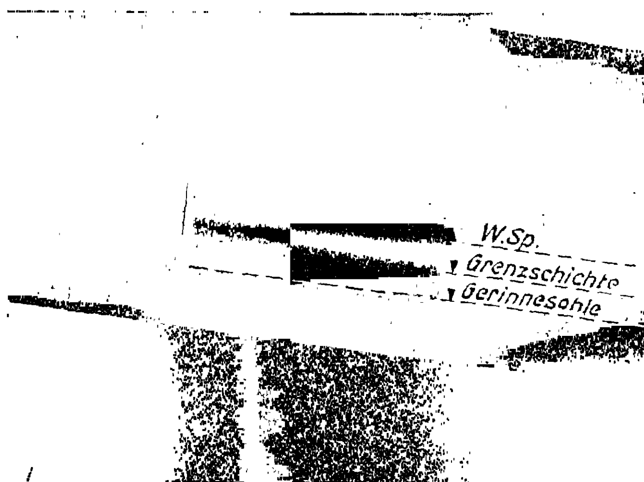


Abb. 3. Seitliches Beobachtungsfenster in der Versuchsrinne.

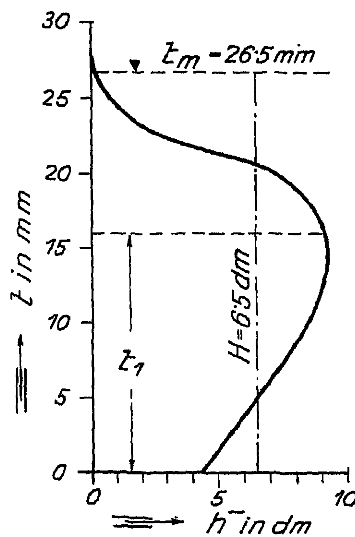


Abb. 4. Verlauf der Geschwindigkeitshöhen.

des Gerinnes reichten, konnte diese Erscheinung unmittelbar sehr gut beobachtet werden (Abb. 3). Der helle Streifen bedeutet das von oben her belüftete Wasser (Wasserluftgemisch), während sich unterhalb desselben bis zur Sohle nur reines Wasser (ohne Luftaufnahme) befand.

Zwischen diesen beiden Teilen war eine mehr oder minder gut ausgebildete Grenzschicht zu bemerken, bis zu welcher die Luftaufnahme reichte. Trägt man die mittels eines einfachen Staurohres (Pitotröhre) ermittelten Geschwindigkeitshöhen in verschiedenen Höhen einer Vertikalen in ein Schaubild zusammen, so ergeben sich ganz charakteristische Kurven (Abb. 4). Die durch t_1 gekennzeichnete Höhenlage jenes Punktes, von welchem an nach oben die Geschwindigkeitshöhen infolge der Luftaufnahme stark abnehmen, stimmt bei kleineren Gefällen (V.R. I bis III) mit großer Annäherung mit der Höhenlage der früher erwähnten Grenzschichte überein. Pitotmessungen, welche entlang der Gerinnemitte gemacht wurden, gaben auf diese Weise auch Aufschluß über den Verlauf der Belüftung in der Längsrichtung des Gerinnes. Diese nimmt vom oberen Rinnenende nach unten allmählich zu. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß die Wassertiefen in der oberen Hälfte der Rinne, wo die Selbstbelüftung noch eine geringe ist, entsprechend der Geschwindigkeitszunahme abnehmen, während in der unteren Rinnenhälfte trotz der noch vorhandenen Beschleunigung des Wassers die Tiefen infolge der starken Luftaufnahme wieder etwas zunehmen, bis sich der endgültige Beharrungszustand ausbildet.

Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeiten auf photographischem Wege mit Hilfe von Wechselstromlicht

Bevor auf die Bestimmung der mittleren Profilgeschwindigkeiten eingegangen wird, sei ein für den folgenden Zweck eigens ersonnenes Verfahren zur Ermittlung der Oberflächengeschwindigkeiten beschrieben, da die Kenntnis der letzteren die Voraussetzung für die Bestimmung der ersteren bildet. Die Oberflächengeschwindigkeiten wurden auf photographischem Wege in der Weise festgelegt, daß eine kurze Daueraufnahme (0,1 bis 0,2 s) eines am oberen Rinnenende eingebrachten Leuchtschwimmers gemacht wurde. Die Leuchtschwimmer bestanden aus Zündholzschachteln, in welchen je ein Stückchen Magnesiumband befestigt war. Die entzündeten Magnesiumbänder hinterließen auf dem Lichtbild grelle weiße Streifen, deren wahre Längen mit Hilfe von seitlich am Gerinne in Abständen von 1 m in der Höhe des jeweiligen Wasserspiegels angebrachten und mitphotographierten Marken auf konstruktivem Wege leicht bestimmt werden konnten (Abb. 5). Die Zündholzschachteln wurden deshalb gewählt, um ein Verlöschen der Lichtquelle durch das herumspritzende Wasser zu verhindern. Allerdings verursachte ein derartiger, verhältnismäßig stark über dem Wasserspiegel herausragender Schwimmer einen, wenn auch geringen Luftwiderstand, auf den noch später zurückgekommen werden wird. Selbstverständlich durften die Aufnahmen erst in jenem Zeitpunkte erfolgen, in welchem sich die Schwimmer jeweils in der gleichförmigen Fließstrecke befanden.

Nicht so einfach wie die Bestimmung des vom Schwimmer zurückgelegten Weges war die Ermittlung der zugehörigen Belichtungsdauer. Diese mußte mit Rücksicht auf die großen Geschwindigkeiten und die nur verhältnismäßig kurzen, gleichförmigen Strecken insbesondere bei

den steileren Neigungen möglichst kurz genommen werden (rund 0,1 s). Zu diesem Zweck wurde ein Uhrwerk mit weißem Zeiger, der sich über einen schwarzen Hintergrund bewegte, neben der Rinne aufgestellt, so daß das Bild dieses Uhrwerkes und des jeweiligen Leuchtschwimmers auf ein und dieselbe photographische Platte kamen (Abb. 5). Während der Aufnahme wurde eine mit Wechselstrom gespeiste, äußerst lichtstarke Bogenlampe (25000 NK) eingeschaltet.

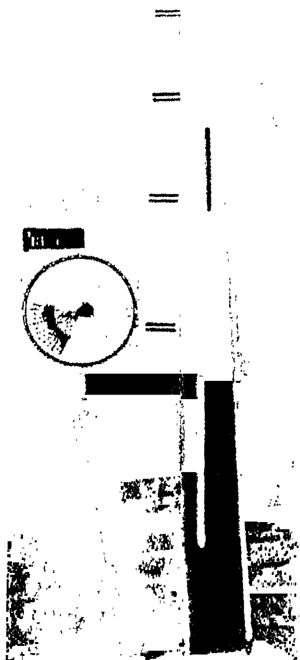


Abb. 5. Photographische Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit.

Das von einer solchen Bogenlampe ausgestrahlte Licht weist bekanntermaßen keine unveränderliche Lichtstärke auf, sondern es wechseln entsprechend der Polwechselzahl (gleich der doppelten Periodenzahl) Größt- und Kleinstwerte miteinander regelmäßig ab. Dementsprechend ist in diesem Falle der vom Zeiger zurückgelegte Weg nicht durch eine gleichmäßig helle Fläche, sondern durch eine Anzahl einzelner, heller Zeigerbilder auf dunklem Untergrund gekennzeichnet. Beträgt nun z. B. die Periodenzahl des Wechselstromes 50, somit die Polwechselzahl 100, so ist die Zeit, die zwischen den Belichtungen zweier aufeinanderfolgender Zeigerstellungen verstrichen ist, genau 0,01 s. Die

gesamte Belichtungsdauer erhält man aus der Anzahl der einzelnen Zeigerbilder. Hierbei ist es selbstverständlich gleichgültig, ob sich der Zeiger mit gleicher Winkelgeschwindigkeit bewegt oder nicht. Da die Periodenzahl infolge der verschieden starken Belastung des Stromnetzes höchstens um 2 Einheiten schwankt, so ergibt sich daraus eine Genauigkeit in der Bestimmung der zwischen 2 Zeigerstellungen verstrichenen Zeit von 0,0004 s oder insgesamt von 4%. Wie genaue Untersuchungen ergaben, erhöht sich dieser Hundertsatz im allerungünstigsten Falle etwa noch um einige wenige Prozente infolge der unsicheren Ablesung der ersten und letzten Zeigerstellung. Der zu erwartende Gesamtfehler kann daher bei Zusammentreffen der ungünstigsten Umstände mit etwa 5% angenommen werden. Die Division des früher gefundenen Weges durch die nun ermittelte Zeit ergibt die gesuchte Geschwindigkeit.

In der geschilderten Weise erhält man die Oberflächengeschwindigkeiten in einem Punkt, bzw. das Mittel über die Breite der Zündholzschachteln (rd. 1/7) der gesamten Gerinnebreite. Für die weitere Berechnung war die Kenntnis der *mittleren* Oberflächengeschwindigkeit erforderlich. Da die Schwimmer selbstverständlich nicht genau in der Mitte schwammen, konnte die entsprechende Reduktion nicht nach einem bestimmten starren Verhältnis erfolgen, sondern mußte mit Rücksicht auf die jeweilige Lage des Schwimmers eingeschätzt werden.

Die Bezeichnung „mittlere Oberflächengeschwindigkeit" trifft eigentlich nicht streng zu, denn infolge der verschiedenen Grade der Belüftungen bei den einzelnen Versuchen zeigten die Schwimmer verschieden große Eintauchtiefen. Die gewonnenen Werte entsprechen daher nicht genau den Oberflächengeschwindigkeiten; es wurde im folgenden die Annahme gemacht, daß die erhobenen Werte die Geschwindigkeiten des Wasserluftgemisches in der Höhe der Schwimmersohle darstellen. Diese Annahme erscheint damit gerechtfertigt, daß, wie die durchgeführten Versuche zeigten, der Wasseranteil des Wasserluftgemisches von oben nach unten stark zunimmt, somit die in der Höhe der Schwimmersohle befindlichen Wasserteilchen den Hauptanteil an dem Bewegungsimpuls des Schwimmers haben. Die genaue Höhenlage der Schwimmersohlen wurde in der Weise ermittelt, daß quer zur [illegible] des Gerinnes ein Drahtnetz so tief abgesenkt wurde, da[illegible] gerade noch ohne daran anzustreifen unten vorbei schwimmen konnten. Aus der Höhenlage der Unterkante des Drahtnetzes über der Sohle und der Höhe des Schachtelrandes ergab sich mit ziemlicher Genauigkeit die richtige Höhe der Schwimmersohle. Die fallweise durchgeführten Kontrollberechnungen der Höhenlagen der Schwimmersohlen aus dem spezifischen Gewicht des Wasserluftgemisches mit Hilfe des Auftriebes stimmten mit den direkten Beobachtungen gut überein.

Bestimmungen der mittleren Profilgeschwindigkeiten und der Belüftungen

Die Ermittlung der Geschwindigkeiten in den einzelnen Profilpunkten stößt, wie bereits erwähnt, wegen der Erscheinung der Selbstbelüftung

auf grundsätzliche Schwierigkeiten, da gleichzeitig 2 Unbekannte (Geschwindigkeit und Belüftung) in Erscheinung treten, während nur eine Gleichung (Eichkurve des Instrumentes) zur Verfügung steht. Es wurde daher der Verlauf der „mittleren Vertikalgeschwindigkeitskurve" (mittlere Geschwindigkeiten über die ganze Gerinnebreite in verschiedene Tiefen, $\bar{v}$) in folgender Weise bestimmt. Bei dem Umstande, daß mit Ausnahme der Versuchsreihe V die Belüftungen nicht ganz bis zur Sohle reichten, war es möglich, den Verlauf der mittleren Vertikalgeschwindigkeitskurve wenigstens in dem nicht belüfteten Bereich auf Grund direkter Pitotmessungen festzulegen. Einen weiteren Punkt

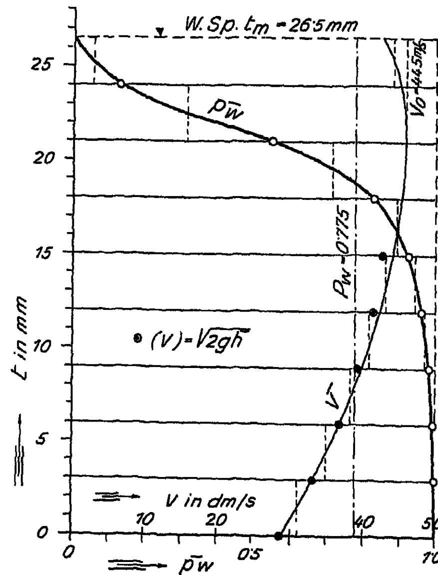


Abb. 6. Ermittlung der Profilbelüftung.

stellte die auf photographischem Wege gefundene mittlere Oberflächengeschwindigkeit ($\bar{v}_0$) in der Höhe der Schwimmersohle dar. Durch den von der Sohle aufsteigenden Kurvenast und diesen einzelnen Punkt ließen sich ziemlich ungezwungen die gesuchten Kurven $\bar{v}/t$ legen (Abb. 6). Hierbei ist nur die Gestalt des obersten Teiles der Kurven unsicher. Dieser Umstand ist jedoch für die weiteren Berechnungen deshalb ohne Belang, weil in den obersten Schichten der Wasseranteil nur mehr wenige Prozente beträgt. Im übrigen ergibt der Vergleich der unter Verwendung dieser Vertikalgeschwindigkeitskurven berechneten Sekundenabflußmengen mit den tatsächlich abgeflossenen Mengen, wie weiter unten gezeigt werden wird, eine gute Kontrolle.

Bevor auf die Berechnung der „mittleren Profilgeschwindigkeit" (V), die mit Rücksicht auf die verschieden starken Belüftungen in den einzelnen Tiefen nicht dem arithmetischen Mittel der Einzelwerte gleichgesetzt werden darf, eingegangen wird, soll vorerst der mathema-

tische Ausdruck für den Begriff „Belüftung“ gegeben werden. Die Einführung dieses Begriffes erscheint aus dem Grunde notwendig, weil sowohl in der Natur wie im Versuch das Produkt aus Querschnitt $(F) \times$ mittlere Geschwindigkeit nicht die tatsächlich abgeflossene Wassermenge (Q) ergibt. Es besteht die Umgleichung:

$$F \cdot V > Q\,.$$

Um die Gleichheit herzustellen, muß an der linken Seite ein Volumenreduktionsfaktor $P_W < 1$, der den prozentuellen Anteil des Wassers am gesamten Wasserluftgemisch ausdrückt, angebracht werden. Dadurch ergibt sich die Gleichung:

$$Q = F \cdot V \cdot P_W \tag{1}$$

oder

$$P_W = \frac{Q}{F \cdot V}\,. \tag{1'}$$

Der Wasseranteil in den einzelnen Tiefen über die ganze Breite des Gerinnes $(\bar{p}_W)$ konnte unter Heranziehung der Geschwindigkeitshöhen ermittelt werden. Letztere wurden mit einem einfachen Staurohr (Pitotröhre ohne Saugdüse) dessen Eichgleichung $h = \frac{v^2}{2g}$ lautete, gemessen. Für ein Wasserluftgemisch (gekennzeichnet durch p_W) läßt sich die einfache Beziehung ableiten:

$$h = \frac{v^2}{2g} \cdot p_W \tag{2}$$

und daraus

$$p_W = \frac{2gh}{v^2}\,. \tag{3}$$

Auf Grund einer vollständigen Staurohrmessung bekommt man den Verlauf der „mittleren Vertikalgeschwindigkeitshöhenkurven“ (Abb. 4, V.R. II, $Q = 20$ l/s). Hierin bedeuten $\bar{h}$ die Mittelwerte über die ganze Gerinnebreite. Gleichung (3) geht dann über in

$$\bar{p}_W = \frac{2g \cdot \bar{h}}{\bar{v}^2}\,, \tag{3'}$$

wenn $\bar{p}_W$ und $\bar{v}$ ebenfalls die Mittelwerte über die Gerinnebreite darstellen. Abb. 6 zeigt den Verlauf der Wasseranteile $(\bar{p}_W)$ und die Geschwindigkeiten in den einzelnen Tiefenschichten für beispielsweise die V.R. II bei $Q = 20$ l/s. Durch die Mittelwertsbildung der $\bar{p}_W$-Kurve erhält man schließlich den die mittlere Belüftung des ganzen Profiles kennzeichnenden gesuchten Wert P_W (= 0,775). Die $\bar{p}_W$-Kurven zeigen in allen Fällen das wesentlich gleiche Bild. Die Luftabnahme beginnt an der Oberfläche, wo der Luftanteil $\bar{p}_L$ $(= 1 - \bar{p}_W)$ 100%, jener des Wassers $(\bar{p}_W)$ 0% beträgt. Mit zunehmender Tiefe ab Wasserspiegel nimmt der prozentuelle Luftanteil zuerst rasch ab, um von einer gewissen Höhe an (der früher erwähnten Grenzschichte) allmählich bis auf 0% zu sinken. Die Höhe entspricht auch ungefähr jener Wasser-

tiefe, in welcher die $\bar{h}$-Werte (Abb. 4) eine Umkehr erfahren. Selbstverständlich ist diese Grenze nicht scharf ausgebildet. Während die Grenze ($\bar{p}_W = 1$) bei den Versuchsreihen I bis III über der Sohle lag, fiel sie bei der Versuchsreihe IV gerade in die Sohle; bei sämtlichen Versuchen der Versuchsreihe V trat auch an der Sohle bereits eine stärkere Belüftung auf, die sich mit $\bar{p}_W = 0{,}83$ ergab.

Wie bereits früher angeführt, gibt die Mittelwertbildung der $\bar{v}$-Kurve mit Rücksicht auf die verschieden starke Belüftung in den einzelnen Tiefen nicht die gesuchte mittlere Profilgeschwindigkeit V. Die einzelnen Geschwindigkeiten sind vielmehr mit verschiedenen Gewichten entsprechend den einzelnen Graden der Belüftungen (ausgedrückt durch $\bar{p}_W$) zu versehen. Die Berechnung der mittleren Profilgeschwindigkeit erfolgte in der Weise, daß das ganze Profil der Höhe nach in schmale (3 mm breite), horizontale Schichten zerlegt und für jede dieser Schichten aus der $\bar{v}$- und $\bar{p}_W$-Kurve ein für die betreffende Schichte gültiger Mittelwert von $\bar{v}'$ und $\bar{p}'_W$ entnommen wurde. Das gesuchte V errechnet sich dann mit:

$$V = \frac{\Sigma \bar{p}'_W \cdot \bar{v}'}{\Sigma \bar{p}'_W} . \qquad (4)$$

Eine Kontrolle für die Richtigkeit des eingeschlagenen Rechnungsvorganges lag in der rechnerischen Ermittlung der Wassermenge. Betragen die durch die schmalen, horizontalen Flächenstreifen ΔF fließenden Wassermengen ΔQ, so ist:

$$\Delta Q = \Delta F \cdot \bar{v}' \cdot \bar{p}'_W$$

und die gesamte Wassermenge:

$$Q = \Sigma \Delta Q .$$

Die nach dieser Gleichung berechneten Wassermengen stimmten mit den am Überfall direkt gemessenen Mengen gut überein. Um eine vollkommene Übereinstimmung in den Wassermengen herzustellen, wurden den weiteren Ausführungen nicht die früher als Mittelwerte der p_W-Kurven gewonnenen P_W-Werte zugrunde gelegt, sondern diese aus Gleichung (1) unter Verwendung der nunmehr bekannten V direkt berechnet aus:

$$P_W = \frac{Q}{F \cdot V} .$$

Diese Werte weichen nur ganz unwesentlich von den früher auf zeichnerischem Wege erhaltenen Mittelwerten ab und sind wie die V in der nachfolgenden Tabelle 1 ausgewiesen.

Zur Berechnung des P_W gibt es noch einen anderen Weg ohne Heranziehung der Wassergeschwindigkeiten, nur auf Grund der Wassermenge und der mittleren Geschwindigkeitshöhe über das ganze Profil (H). Letztere erhält man durch die Mittelwertsbildung der $\bar{h}$-Kurven (Abb. 4, $H = 6{,}5$ dm). Entsprechend der für einzelne Punkte gültigen Gleichung (3)

(3) kann für das ganze Profil unter Einführung der entsprechenden Profilmittelwerte mit großer Annäherung gesetzt werden:

$$P_W = \frac{2gH}{V^2}. \tag{5}$$

Wird aus Gleichung (1):

$$V = \frac{Q}{F \cdot P_W}$$

in Gleichung (5) eingesetzt, so erhält man:

$$P_W = \frac{Q^2}{2gHF^2}. \tag{6}$$

Die nach dieser Gleichung berechneten, in der Kolonne 8 der Tabelle 1 eingetragenen Werte sind im allgemeinen etwas kleiner als die früher unter Verwendung der Geschwindigkeiten ermittelten P_W. Dies findet seine Erklärung darin, daß, wie am Schlusse dieser Ausführung gezeigt wird, infolge der Vernachlässigung des Luftwiderstandes der Schwimmer für die gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten etwas zu kleine Werte eingeführt worden sind.

Behufs Ausscheidung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler und um einen Überblick über die Genauigkeit der Messungsergebnisse zu erhalten, wurden letztere in einer Anzahl von Schaubildern zeichnerisch aufgetragen und ausgeglichen[2]. Die Tabelle 1 enthält sämtliche Messungsergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

Trägt man die zusammengehörigen Wertepaare R/V in ein zweifach logarithmisch geteiltes, rechtwinkeliges Koordinatensystem ein, wobei die hydraulischen Radien (R) als Ordinaten und die mittleren Profilgeschwindigkeiten (V) als Abszissen erscheinen, so lassen sich durch die so erhaltenen Punkte entsprechend den verschiedenen Gefällen der 5 Versuchsreihen 5 parallele Gerade legen, welche die gesuchte Gesetzmäßigkeit zum Ausdruck bringen. Trägt man in dasselbe Schaubild vergleichsweise die nach der von *Rehbock*[3] verbesserten vollständigen *Ganguillet-Kutter*schen Formel (für $n = 0{,}010$) sich ergebenden Rechnungswerte ein, so ersieht man aus der flacheren Neigung der sich ebenfalls ergebenden parallelen Geraden gegenüber den früher gefundenen die Größe des energieverzehrenden Einflusses der Selbstbelüftung bei stärkeren Gefällen. In gleicher Weise läßt sich auf Grund der in der Tabelle 1 ausgewiesenen Werte eine Beziehung zwischen R und P_W (Wasseranteil am Gesamtgemisch) aufstellen.

Die im Wege des Versuches gefundenen Beziehungen R/V und R/P_W haben strenggenommen nur innerhalb jener Grenzen Geltung, die durch die Versuchswerte gegeben sind. Bei Anwendung auf die Fälle der Praxis muß der Weg der Extrapolation eingeschlagen werden. Obwohl eine solche infolge der logarithmischen Auftragung auf keine

[2] Nähere Einzelheiten über die durchgeführten Versuche sowie insbesondere eine Anzahl von Schaubildern siehe: *Ehrenberger*, Wasserbewegung in steilen Rinnen (Zeitschrift des österr. Ing.- u. Arch.-Vereins 1926, Heft 15/18).

[3] *Rehbock*, Betrachtungen über Abfluß, Stau und Walzenbildung bei fließenden Gewässern (Berlin 1917).

Tabelle 1. Zusammenstellung der Messungsergebnisse.

V.R.-Nr. tg α [sin α]	Q sl	t mm	$R=\frac{F}{U}$ mm	V m/s	$P_W=\frac{Q}{F\cdot V}$	H dm	$P_W=\frac{Q^2}{2g\cdot H\cdot F^2}$
I	10	17,5	15,3	2,93	0,790	—	—
155‰	20	27,5	22,5	3,64	0,790	5,5	0,763
[0,153]	31	37,5	28,8	4,05	0,807	6,7	0,813
	44,5	49,0	35,3	4,43	0,801	8,2	0,783
II	10	16,5	14,6	3,12	0,770	—	—
206‰	20	26,5	21,8	3,98	0,750	6,5	0,701
[0,202]	31	36,5	28,2	4,48	0,750	7,9	0,728
	44,5	47,5	34,5	4,89	0,758	9,2	0,762
III	10	15,5	13,8	3,50	0,729	5,2	0,638
320‰	20	25	20,8	4,41	0,716	7,5	0,678
[0,305]	31	35	27,4	4,97	0,704	9,0	0,694
	44,5	46	33,7	5,35	0,707	10,2	0,714
IV	10	14,5	13,0	4,03	0,675	—	—
495‰	20	24	20,1	5,12	0,644	9,0	0,613
[0,444]	31	34	26,7	5,71	0,631	10,8	0,612
	44,5	45	33,2	6,15	0,635	—	
V	10	16	14,2	4,81	0,513	6,6	0,481
762‰	20	26	21,5	5,93	0,512	9,7	0,486
[0,606]	31	36	27,9	6,66	0,510	11,6	0,508
	44,5	47,5	34,5	7,20	0,513	—	—

Schwierigkeiten stößt, erschien die Heranziehung von in der Natur ausgeführten Messungen dringend geboten. Solche lagen nur vom Leerlauf des Ruetzwerkes vor. Bei Durchführung der Versuche wurde auf dieselben in der Weise Rücksicht genommen, daß das Gefälle dieses Leerlaufes ($\alpha = 37^1/_2{}^\circ$) der V.R. V zugrunde gelegt wurde. Es lagen 12 Oberflächengeschwindigkeitsmessungen bei verschiedenen Wassermengen (bzw. Tiefen) vor. Die Berechnung der mittleren Profilgeschwindigkeiten aus den gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten erfolgte unter Zugrundelegung der im Wege des Versuches gewonnenen Beziehung $V = 0{,}9 \cdot v_0$. Trägt man nun die zusammengehörigen, entsprechend ausgeglichenen Wertepaare R/V in die früher erwähnte logarithmische Darstellung ein, so läßt sich durch die erhaltenen Punkte eine Gerade legen, die durch jenen Punkt der im Versuchswege gewonnenen Geraden geht, von dem an sich der Einfluß der Belüftung geltend macht. Die Neigung dieser Geraden weicht von der im Versuchswege gefundenen ein wenig ab und dürfte dies auf die Vernachnachlässigung des Luftwiderstandes der Leuchtschwimmer zurückzuführen sein.

Es ergibt sich somit die vollständig begründete Notwendigkeit einer kleinen Berichtigung der durch den Versuch gewonnenen R/V-Linien (kleine Änderung in der Neigung derselben). Dadurch erfahren aber auch die in der Kolonne 6 der Tabelle 1 berechneten Werte von P_W eine kleine Veränderung (Verkleinerung), wodurch eine recht gute Übereinstimmung mit den auf Grund der mittleren Geschwindigkeitshöhen gewonnenen, in Kolonne 8 ausgewiesenen Werten eintritt. Die

Übereinstimmung mit diesen Werten, bei welchen die Schwimmermessungen und somit auch die bei diesen gemachten Fehler außer Betracht bleiben, ist ein weiterer Beweis für die Zulässigkeit der vorgenommenen kleinen Berichtigung.

Die neuen Formeln

Mit Hilfe der früher erwähnten logarithmischen Darstellung lassen sich die beiden gesuchten endgültigen Beziehungen $V = f_1$ (R, $\sin\alpha$) und $P_W = f_2$ (R, $\sin\alpha$) ohne weiteres aufstellen. Während die erste

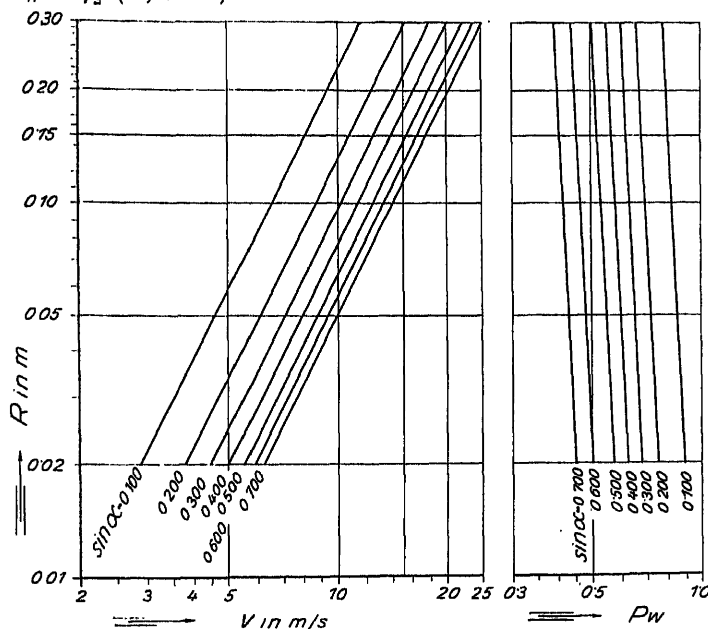


Abb. 7. Logarithmische Darstellung der neuen Formeln.

Funktion sich durch eine einzige Gleichung darstellen läßt, erfährt die zweite eine Zweiteilung, je nachdem $\sin\alpha$ kleiner oder größer als 0,476 (· $28^1/_2{}^\circ$) ist. Diese Grenze scheint jenem Gefälle zu entsprechen, bei welchem die Belüftung gerade bis zur Sohle reicht. Diese Ansicht erfährt eine Bestätigung durch die unmittelbare Beobachtung durch das Glasfenster bei der Versuchsreihe IV ($\sin\alpha = 0,444$), bei welcher dieser Zustand nahezu zutrifft, während dies bei den V.R. I bis III noch nicht der Fall ist.

Die gesuchte Gleichung lautet:

$$V = 55 \cdot R^{0,52} \cdot \sin\alpha^{0,4}\,. \tag{7}$$

Der prozentuale Wasseranteil am Gesamtwasserluftgemisch läßt sich ausdrücken durch die folgenden Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} P_W &= 0,40 \cdot R^{-0,05} \cdot \sin\alpha^{-0,26} \quad \text{für} \quad \sin\alpha < 0,476 \\ P_W &= 0,28 \cdot R^{-0,05} \cdot \sin\alpha^{-0,74} \quad \text{für} \quad \sin\alpha > 0,476\,. \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Für den praktischen Gebrauch sind obige Gleichungen in logarithmischer Darstellung durch die Abb. 7 wiedergegeben. Die oberen Gültigkeitsgrenzen betragen:

$$R = 0{,}30\ \mathrm{m} \quad \text{und} \quad \sin\alpha = 0{,}700 \ (\alpha = 45\%).$$

Dieser Darstellung ist zu entnehmen, daß innerhalb des angegebenen Geltungsbereiches ein vom hydraulischen Radius und dem Gefälle unabhängiger oberer Geschwindigkeitsgrenzwert noch nicht erreicht ist. Die Frage, ob die R/V-Linien bei größeren R-Werten steilere Neigungen annehmen und schließlich in eine Vertikale übergehen, läßt sich auf Grund der heute vorliegenden Messungsergebnisse nicht beantworten.



Abb. 8. Erscheinung der Selbstbelüftung am Rinnenende.

Es bleibe jedoch hier nicht unerwähnt, daß die für den freien Fall im lufterfüllten Raum für die Geschwindigkeiten sich ergebenden Rechnungswerte nicht ohne weiteres zu Vergleichszwecken herangezogen werden dürften, da beim Steilgerinne im theoretischen Grenzfall $\sin\alpha = 1$ (vertikale Rinnenneigung) der Luftzutritt nur von *einer* Seite her erfolgt, während die übrigen 3 Seiten durch Wände von der umgebenden Luft abgeschlossen sind. Hinsichtlich des Verlaufes der Belüftung ist hervorzuheben, daß dieselben bei gleichbleibender Wandrauhigkeit in erster Linie vom Gefälle und nur in ganz geringem Maße von den hydraulischen Radien bzw. Tiefen abhängen.

Ergänzende Bemerkungen über die Selbstbelüftung des Wassers

Es sei mir hier noch gestattet, auf einige nicht uninteressante Tatsachen hinzuweisen, die geeignet sind, zur Klärung der Erscheinung der Selbstbelüftung beizutragen. Bringt man am Ende der Versuchsrinne als Verlängerung der beiden hölzernen Seitenwände je eine Glas-

tafel an, so sieht man die Belüftung an der unteren Seite in dem Augenblick einsetzen, als das Wasser den Gerinneboden verläßt (Abb. 8). Ähnliche Verhältnisse konnten auch bei einem aus einer Druckrohrleitung ausströmenden Wasserleitungsstrahl beobachtet werden. Bei allmählicher Steigerung der Wassermenge bzw. der Austrittsgeschwindigkeit, zeigten die Wasserbegrenzungen zuerst starke Aufrauhungen mit Loslösung einzelner Wassertropfen, um bei weiterer Erhöhung der Geschwindigkeiten das typische Bild der Selbstbelüftung zu geben. Durch sorgsame Beobachtungen wurde versucht, jene Grenzgeschwindigkeit zu ermitteln, bei welcher das erste Loslösen der Wassertropfen (Beginn der Belüftung) erfolgt. Obwohl der Eintritt dieses Grenzzustandes nicht scharf gekennzeichnet ist, so kann doch diese Geschwindigkeit mit einiger Annäherung mit rund 3,00 m/s angegeben werden.

In diesem Zusammenhang verdient hervorgehoben zu werden, daß in der früher erwähnten logarithmischen Darstellung (Auftragung der Versuchswerte R/V) die Schnittpunkte der aus den Versuchsergebnissen gewonnenen Linienschar mit jener Linienschar, die die *Ganguillet-Kutter*sche Formel ($n = 0{,}010$) darstellt, ebenfalls ungefähr zwischen den Abszissen $V = 3{,}00$ und $3{,}50$ m/s liegen.

Schließlich sei noch auf ein drittes Moment hingewiesen. Wie bereits früher ausgeführt, reicht das Wasserluftgemisch in jedem einzelnen Profil bis zu einer gewissen Tiefe, die durch das Abbiegen der $\bar{p}_W$-Kurve von der vertikalen Richtung (Abb. 6) gekennzeichnet ist. In dem vorliegenden Fall ist dies bei einer Wassertiefe von $t = 6$ mm der Fall, welcher Tiefe eine Geschwindigkeit von $v = 3{,}70$ m/s entspricht. Führt man diese Untersuchung für alle übrigen Fälle durch, so ergeben sich Geschwindigkeitswerte, die zwischen den verhältnismäßig engen Grenzen von $3^1/_2$ und $4^1/_2$ m/s liegen. Aus den 3 grundsätzlich verschiedenen Betrachtungsweisen ergibt sich somit *die neue Tatsache, daß die Erscheinung der Selbstbelüftung bei einer gewissen unteren Grenzgeschwindigkeit einsetzt, die mit etwa rd. 4,00 m/s angegeben werden kann.*

Überprüfung der neuen Formeln

Zum Schluß vorstehender Ausführungen sei eine Überprüfung der neu aufgestellten Formeln auf Grund von direkten Messungen in der Natur vorgenommen. Zur Verfügung standen mir die Beobachtungsergebnisse der an den Leerläufen der Wasserkraftwerke in Dago, Benkok (beide in Holländisch-Indien) und in Mallnitz (Österreich) durchgeführten Messungen. Wiewohl die indischen Messungen schon im Jahre 1924 ausgeführt wurden, eignen sie sich doch zu Kontrollzwecken, da ich erst nach Aufstellung der neuen Formeln durch einen Zufall hiervon Kenntnis erlangt habe. Die Messungen in Mallnitz wurden im Herbst 1928 vom Elektrifizierungsamt der österreichischen Bundesbahnen durchgeführt. Die Querprofile wiesen in den beiden ersten Fällen eine rechteckige Form (Sohlenbreite $b = 1$ m), im letzten Fall Trapezform ($b = 2{,}00$ m) auf.

1. Leerlauf in Dago ($\sin\alpha = 0,246$)

a. $Q = 1,39\ m^3/s$, $t = 0,195\ m$ $F = 0,195\ m^2$, $R = 0,14\ m$,
Rechnung: $V = 11,20\ m/s$, $P_W = 0,64$,
Messung: $V = 11,10\ m/s$, $P_W = 0,64$.

b. $Q = 0,74\ m^3/s$, $t = 0,13\ m$, $F = 0,13\ m^2$, $R = 0,103\ m$,
Rechnung: $V = 9,40\ m/s$, $P_W = 0,65$,
Messung: $V = 8,60\ m/s$, $P_W = 0,66$.

2. Leerlauf Benkok ($\sin\alpha = 0,602$)

a. $Q = 6,00\ m^3/s$, $t = 0,67\ m$, $F = 0,67\ m^2$, $R = 0,286\ m$,
Rechnung: $V = 23,60\ m/s$, $P_W = 0,44$,
Messung: $V = 23,50\ m/s$, $P_W = 0,38$.

b. $Q = 2,9\ m^3/s$, $t = 0,37\ m$, $F = 0,37\ m^2$, $R = 0,212\ m$,
Rechnung: $V = 20,00\ m/s$, $P_W = 0,44$,
Messung: $V = 20,50\ m/s$, $P_W = 0,38$.

3. Leerlauf Mallnitz ($\sin\alpha = 408$)

a. $Q = 4,70\ m^3/s$, $t = 0,375\ m$, $F = 0,778\ m^2$, $R = 0,281\ m$,
Rechnung: $V = 20,00\ m/s$, $P_W = 0,54$,
Messung: $V = 20,90\ m/s$.

b. $Q = 3,80\ m^3/s$, $t = 0,35\ m$, $F = 0,725\ m^2$, $R = 0,267\ m$,
Rechnung: $V = 19,40\ m/s$, $P_W = 0,54$,
Messung: $V = 19,20\ m/s$.

Zu den beiden letzten Messungen ist zu bemerken, daß eine genaue Erfassung der sekundlichen Wassermengen und somit des Wasseranteiles P_W (auf Grund der Beobachtungsergebnisse) nicht möglich war. In diesem Fall traten besonders stark ausgebildete Wanderwellen auf, was zur Folge hatte, daß der Wasserabfluß kein stationärer war. Die im Zu- und Ablauf gemessenen Wassermengen (Q) stellen nur *Durchschnittswerte* der durch das Meßprofil hindurchgeflossenen Mengen dar, die große Schwankungen aufwiesen. Es hatte den Anschein, als ob die im Leerlauf vorhandenen Gefällsbrüche (in der Längsrichtung) wesentlich zur stärkeren Ausbildung der Wanderwellen beitrugen. Auf diesen Umstand sei bei Planung neuer Leerläufe besonders aufmerksam gemacht, da die maximalen Wassertiefen infolge der Wanderwellen die mittleren Tiefen um ein wesentliches überschreiten können. Die durchgeführten Kontrollberechnungen lassen insbesondere hinsichtlich der neuen Geschwindigkeitsformel eine sehr gute Übereinstimmung der Rechnungswerte mit den Messungsergebnissen erkennen. Hierbei bewegten sich die Gefälle ($\sin\alpha$) innerhalb der Grenzen von 0,250 bis 0,600 und die Geschwindigkeiten (V) zwischen 9 und $23^1/_2$ m/s.

Schlußbemerkung

Im vorstehenden wurde die Gesetzmäßigkeit der Wasserbewegung in sehr steilen Rinnen festgelegt und der Versuch unternommen, die Erscheinung der Selbstbelüftung näher zu beleuchten. Das Maß der Selbstbelüftung ist hierbei durch den prozentuellen Wasseranteil P_W am

Gesamtwasserluftgemisch gekennzeichnet. Für die Feststellung der geplanten Abmessungen eines Gerinnes dient die Beziehung:

$$Q = F \cdot V \cdot P_W$$

wobei die Werte für die mittlere Profilgeschwindigkeit V und die mittlere Belüftung P_W den beiden Hauptgleichungen (7) und (8), oder der zeichnerischen Darstellung in Abb. 7 zu entnehmen sind. Diese Gleichungen gelten strenggenommen für künstliche Gerinne aus gehobeltem Holz mit annähernd rechteckigem Querschnitt.

Ferner hat die Untersuchung gezeigt, daß die Erscheinung der Selbstbelüftung des Wassers bei Überschreitung einer gewissen unteren Geschwindigkeitsgrenze einsetzt, die etwa mit $V = 4{,}00$ m/s angegeben werden kann.

Summary

A simple steeply inclined conduit is sometimes used nowadays for carrying off the overflow water from the surge tanks of hydro-electric stations employing high heads. Observations show in this case that air is drawn into the water by the friction between the water and the air, which automatically involves a very thorough mixing of these two elements. This results in a loss of energy, so that the velocity formulae in present use are only applicable to angles of inclination of 1 to 1.5%.

Laboratory tests have been carried out by the author at Vienna for the purpose of finding a velocity formula for steeply inclined conduits (up to 70%). An attempt was made at the same time to investigate the problem of the automatic aeration of water.

Using the metric system throughout, if V denotes the mean velocity, R the hydraulic radius, α the angle of inclination and F the cross section of the profile, P_w the water content as a percentage of the mixture of air and water and Q the quantity of water per second, we have

$$V = 55 \cdot R^{0.52} \sin\alpha^{0.4}$$
$$P_W = 0{,}40 \cdot R^{-0.05} \sin\alpha^{-0.26} \quad \text{for} \quad \sin\alpha \leq 0{,}476$$
$$P_W = 0{,}28 \cdot R^{0.05} \sin\alpha^{-0.74} \quad \text{for} \quad \sin\alpha > 0{,}476$$
$$Q = F \cdot V \cdot P_W.$$

For practical use, the first three relations are also plotted in the form of a graph in Fig. 7.

From test measurements carried out on spillways at Dago and Benkok (Dutch East Indies) and at Mallnitz (Austria) the observed results have been found to agree very well with the calculated values.

Automatic aeration is shown to commence at a certain limit of velocity ($V = 4{,}00$ m/s).

Österreich

Vorschläge für die Bestimmung der Feststofführung der Gewässer[1]

Österreichisches Nationalkomitee

Entsprechend dem von Prof. *Halter* (Wien) auf der Sondertagung der Weltkraftkonferenz in Basel 1926 gestellten Antrag und auf Ersuchen des Londoner Büros der Weltkraftkonferenz empfiehlt das Österreichische Nationalkomitee auf Grund von Vorschlägen, die von den Herren Prof. *Halter*, Prof. Dr. *Schaffernak* (Wien) und Oberbaurat Ing. *Rosenauer* (Linz) ausgearbeitet worden sind, die Aufstellung nachstehender Richtlinien für die Durchführung von Erhebungen über die Geschiebe- und Schwebestofführung der Flüsse.

Alle fließenden Gewässer, die Bäche, Flüsse und Ströme, führen Feststoffteile, die bei ihrer Fortbewegung fortwährend Veränderungen nach Form und Größe unterworfen sind. Das Geschiebe wird unter Einflußnahme von physikalischen und chemischen Vorgängen allmählich abgerieben und abgeschliffen zu Sand und Schwebestoffen. Die fließenden Gewässer führen daher *Geschiebe* an der Sohle des Gerinnes und *Schwebestoffe* schwebend im Wasser; beide sind voneinander nie vollständig zu trennen. Die Grenze zwischen ihnen ist nach Wasserstand, Wassermenge, Gefälle und Bodenbeschaffenheit verschieden.

Durch Hemmung der Fließbewegung verliert das Wasser das Vermögen, Feststoffteile mitzuführen. Jede Speicherung von Wasser ruft somit Anlandungen hervor, die den nutzbaren Speicherraum vermindern. Die Technik sinnt daher nach Mitteln, die Auflandung zu vermeiden oder zu vermindern. Um dieses Ziel erreichen zu können, ist es zunächst notwendig, das Maß der Verlandung nach der Zeit kennenzulernen; eine systematische Forschertätigkeit hat einzusetzen und ist unerläßlich, um hiernach ermessen zu können, wie lange ein Speicherraum seinem Zwecke erhalten werden kann.

Die Naturgesetze, welchen die Geschiebebewegung unterworfen ist, sind dabei andere als jene, welche bei der Schwebestoffwanderung auftreten, daher sind die Mittel verschieden, die bei der Beobachtung und Messung der Feststoffbewegung zur Anwendung zu kommen haben.

A. Schwebestoffe

Das Grundelement für eine Beobachtung der Schwebestoffbewegung ist die Schöpfprobe. An einer bestimmten Stelle wird dem Fluß eine

[1] Auf Grund eines auf der Weltkraftteilkonferenz in Basel 1926 gefaßten Beschlusses wurden diese Richtlinien für das Österreichische Nationalkomitee aufgestellt.

Wasserprobe entnommen, durch Verdunstungsprozesse der Schwebestoff vom Wasser geschieden, getrocknet und gewogen. Hofrat Dr. *Krapf*[2] hat diesen Versuch durch mehr als 20 Jahre alltäglich durchgeführt und so den Schwebestoffgehalt des Rheins bei den verschiedenen Abflußmengen festgestellt, wobei die Wassermengen auf Grund von Pegelstandsbeobachtungen und hydrometrischen Erhebungen festgelegt wurden.

So ergaben sich in einem 20jährigen Intervall Schlammengen pro Jahr im Minimum mit 1143325 m³ im Jahre 1894 und mit 10513275 m³ im Jahre 1910. Der Rhein trug in den Jahren 1893 bis 1912 rd. 68,8 Mill. m³ Schlamm in den Bodensee, d.i. durchschnittlich 3,44 Mill. m³ pro Jahr.

Vergleichsweise ausgeführte Messungen der Geschiebemengen ergaben die Schwebestoffmenge mit einem Vielfachen der Geschiebemenge, woraus sich die überwiegende Bedeutung der Schwebestoffmenge ergibt.

Die Durchforschung der Schwebestofffrage erfordert Schöpfproben an verschiedenen Stellen eines Flusses unter Bedachtnahme auf Niederschlagsgebiet, Abflußmengen und lokale Verhältnisse.

Für die Bestimmung der Schwebestoffmengen in Flüssen werden folgende *Vorschläge* gemacht:

1. Die Beobachtungsstelle soll möglichst mit einer Pegelstelle zusammenfallen. Sie soll genügend weit unterhalb der Mündung größerer Zuflüsse liegen, so daß angenommen werden kann, eine vollkommene Mischung des Zubringerwassers mit dem des Hauptstromes habe bereits stattgefunden. Es ist zweckmäßig, wenn an der Beobachtungsstelle eine Brücke oder eine Fähre vorhanden ist (siehe Punkt 4). Es ist besonders darauf Bedacht zu nehmen, daß die Beobachtungen ohne Unterbrechung durch lange Zeiträume (Jahrzehnte) vorgenommen werden können.

2. Die ständige Beobachtung der Wasserstände an der gewählten Beobachtungsstelle ist die Voraussetzung für weitere Arbeiten; ebenso die ständige Kenntnis der den einzelnen Wasserständen zugeordneten Abflußmengen.

3. Es wird unterschieden werden müssen, ob die Schwebestoffbestimmungen

a. nur Gesamtmengen für bestimmte Zeiträume ergeben oder ob

b. auch kurzfristige Schwankungen der vom Fluß mitgeführten Mengen bekannt werden sollen. Das Verfahren nach 3a wird nicht angewendet werden können in Flüssen und in Zeiten, in denen besonders rasch die Wasserstände und die Schwebestoffmengen wechseln (Hochalpenflüsse); es wird jedoch in Strömen, die eine ausgeglichenere Wasserführung haben, brauchbare Ergebnisse liefern. Im ersteren Fall (3a) ist die zu leistende Arbeit einfacher und mit geringeren Hilfsmitteln durchzuführen als im zweiten (3b). Die Beobachtungen 3a können somit an einer größeren Anzahl von Flußstellen von wenig vorgebildeten, aber

[2] „Die Schwerstofführung des Rheins und anderer Gewässer" in der Österr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst 1919.

gewissenhaften Leuten besorgt werden, während bei den Beobachtungen 3b die genügende Einsicht des Beobachters sehr wichtig ist.

4. Aus dem Fluß — und zwar in angemessener Entfernung vom Ufer — sind Schöpfproben zu entnehmen und zwar:

Im Falle 3a am besten täglich zur Stunde der Pegelbeobachtung; im Falle 3b in Zeitabständen, die von der Wasserstandschwankung und der jeweiligen Schwebestoffmenge abhängen. Diese Zeitabschnitte werden um so kürzer gewählt (wenige Stunden), je größer die Schwankungen sind. Zu Niederwasserzeiten wird eine wöchentlich ein- bis zweimalige Entnahme genügen.

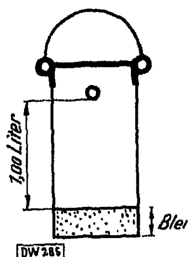


Abb. 1.

Die Entnahme der Schöpfproben erfolgt mit einem Schöpfgefäß von der in Abb. 1 gezeigten Form, das in einer Höhe, die den Inhalt eines Liters begrenzt, zwei gegenüberstehende Bohrungen hat. Das Schöpfgefäß wird an einer Leine von einer Brücke oder von einer Fähre aus etliche Dezimeter unter den Wasserspiegel hinabgelassen. Nach dem Hochziehen fließt das überschüssige Wasser durch die Bohrungen ab, und es bleibt die genaue, für die weitere Untersuchung notwendige Menge übrig.

Bei guter Wahl der Beobachtungsstelle ist anzunehmen, daß der Entnahmepunkt im Flußquerschnitt von keinem oder äußerst geringen Einfluß auf den Schwebstoffgehalt der Schöpfprobe ist. Um sich darüber Gewißheit zu verschaffen, wird man anfangs bei verschiedenen Wasserständen an mehreren Punkten des Flußquerschnittes Schöpfproben entnehmen und sie auswerten. Dabei wird man auch auf die verschiedene Wasserführung der nahen Zubringer achten müssen, die bei gleichem Wasserstande des Hauptflusses wieder verschieden sein kann. Zeigen sich große Unterschiede des Schwebestoffgehaltes an den einzelnen Punkten, so ist es zweckmäßig, eine andere Beobachtungsstelle zu wählen, von der angenommen werden kann, daß eine innigere Vermischung des Wassers bereits vor sich gegangen ist. Ansonsten müßten statt einer Schöpfprobe immer eine größere Zahl an verschiedenen Querschnittspunkten entnommen und verarbeitet werden, um schließlich Mittelwerte, die für den ganzen Flußquerschnitt gelten, zu erhalten.

5. Das Abscheiden der Schwebestoffe kann auf zweierlei Weise geschehen.

a. Für die Feststellung nach Punkt 3a (Gesamtmenge) empfiehlt sich folgender Vorgang:

Ein Glas- oder Emailgefäß wird ein für allemal für diesen Zweck bereitgestellt. Es soll so beschaffen sein, daß es in einem Wasserbad erwärmt werden kann, so daß seine Temperatur 100° C nie übersteigt, um chemische Veränderungen der Schwebestoffe möglichst zu vermeiden. Ferner muß das Gefäß mit einem gut schließenden Deckel verschließbar sein. Dieses Verdunstungsgefäß wird gereinigt und dann gewogen; sein Gewicht wird aufgezeichnet. Zur Gewichtsbestimmung wird eine Tarawage mit mindestens 0,01 g Genauigkeit verwendet. In das Verdunstungsgefäß wird täglich die Schöpfprobe eingeschüttet, wobei die Vorsicht zu walten hat, daß auch sämtliche geschöpften Schwebestoffe dabei mitgehen und nicht etwa ein Bodensatz im Schöpfgefäß bleibt; durch Quirlen vor dem Einschütten wird dies leicht erreicht. Das Verdunstungsgefäß wird nun ins Wasserbad gebracht und so lange erhitzt, bis die Schöpfprobe zum größten Teil verdunstet ist. Bis zum Einschütten der nächsten Probe (am folgenden Tage) bleibt dann das Verdunstungsgefäß mit dem Deckel verschlossen stehen.

Am Ende des Monates oder sonst nach einem geeigneten Zeitraum wird das Verdunstungsgefäß, nachdem das Wasser nunmehr vollständig verdunstet wurde, außen gereinigt, mit den angesammelten Schwebestoffmengen gewogen. Der Unterschied zwischen der zweiten und ersten Wägung gibt die Summe der Gewichte der in allen Schöpfproben enthaltenen Schwebestoffe. Nachher wird das Verdunstungsgefäß von den enthaltenen Schwebestoffen gründlich gereinigt, neuerlich gewogen und ist so bereit zur Aufnahme neuer Schöpfproben.

b. Nach dem Vorgang 3b wird wie folgt verfahren:

Ein sorgfältig getrocknetes Papierfilter wird auf einer Tarawage (mindestens 0,01 g genau) gewogen. Nun wird die Schöpfprobe so oft durch das Papierfilter gefiltert, bis das Wasser rein ist, was man durch Betrachten über schwarzem Papier feststellt. Das Filter wird neuerlich sorgfältig getrocknet und gewogen. (Es ist besonders darauf zu achten, daß der Wassergehalt des Filterpapieres beim jedesmaligen Abwiegen gleich groß ist; durch genügend langes Trocknen im Trockenkasten wird dies unschwer erzielt.) Der Unterschied zwischen der zweiten und ersten Wägung, die Gewichtszunahme, stellt das Gewicht der in der Schöpfprobe enthaltenen Schwebestoffe dar. Wenn die neuen und die benützten Filter in staubdichten Behältern verwahrt werden, so kann das Abwiegen auch etwa am Monatsende oder sonst nach irgendwelchen passenden Zeiträumen vorgenommen werden, um diese Arbeit nicht täglich besorgen zu müssen. Um Verwechslungen der Filter zu vermeiden, ist jedes sofort mit dem Entnahmetag und dem Leergewicht zu versehen. Zur Zeit schwachen Schwebestofftriebes, in der die höchsten Anforderungen an Genauigkeit der Arbeiten gemacht werden müssen, wird ganz besondere Sorgfalt auf die Aufbewahrung usw. zu verwenden sein, damit nicht zufällig auf dem Filter sich ablagernder Staub das Ergebnis beeinträchtigt.

Durch den Vorgang 5a wird die Schwierigkeit umgangen, sehr geringe Schwebestoffmengen *einer* Probe für sich allein wiegen zu müssen, was nicht immer mit der erforderlichen Genauigkeit möglich sein wird. Aus

dem Grunde kann man auch eine Verbindung von 5a und 5b eintreten lassen, indem man z. B. bei geringem Schwebestoffgehalt ein Filter öfter, d. h. für mehrere Proben benützt. Voraussetzung ist aber dann, daß die Proben so regelmäßig in gleichen Zeitabständen entnommen werden, wie das unter 5a angegeben ist, weil sonst die rechnerische Ausmittlung auf Schwierigkeiten stößt.

6. Die rechnerische Ermittlung der Schwebestoffmengen erfolgt verschieden für das Verfahren nach Punkt 5a und nach Punkt 5b.

Verfahren nach 5a

Die am Monatsende erhaltene Summe der Gewichte der Schwebestoffe aus den gesamten Schöpfproben wird durch die Zahl der Monatstage geteilt (durch 28, 29, 30 oder 31); man erhält so das mittlere Schwebestoffgewicht einer Schöpfprobe. Dieser Wert wird auf die Raumeinheit der Abflußmenge (Liter, Kubikmeter) umgerechnet. Aus den Wasserstandsbeobachtungen und Wassermengenmessungen ist die Gesamtabflußmasse des Flusses für den gleichen Zeitraum bekannt, so daß eine einfache Rechnung das Gesamtschwebestoffgewicht, das der Fluß im Monat befördert hat, ergibt.

Als kennzeichnende Ziffern erhält man auf diese Weise:

1. Das mittlere Gewicht der in der Raumeinheit Wasser enthaltenen Schwebestoffmengen für den Beobachtungsmonat.

2. Das Gewicht der im Beobachtungsmonat abgeführten Schwebestoffmengen.

Verfahren nach 5b

Es wird aus je zwei aufeinanderfolgenden Gewichten das Mittel gebildet und auf die Raumeinheit der Wassermenge (Liter, Kubikmeter) umgerechnet. Eine Vervielfachung mit der im entsprechenden Zeitraum abgeflossenen Wassermasse ergibt das in diesem Zeitraum beförderte Schwebestoffgewicht. Die einzelnen Teilgewichte ergeben zusammen das Gesamtschwebestoffgewicht im Monat (Jahr usw.).

Man erhält hier folgende Werte:

1. Die mittleren Gewichte der Schwebestoffmengen in der Raumeinheit Wasser für die Beobachtungszeiträume.

2. Die Gewichte der in den einzelnen Beobachtungszeiträumen abgeführten Schwebestoffe.

3. Das Gewicht der im Beobachtungsmonat abgeführten Schwebestoffe und durch Teilung durch die Abflußmasse.

4. Das mittlere Gewicht der in der Raumeinheit Wasser enthaltenen Schwebestoffmengen für den Beobachtungsmonat.

Es ist zweckmäßig, die erhaltenen Werte zusammen mit den Abflußmengen als Schaulinien darzustellen.

5. Beim Übergang von Gewichtsmassen auf die Raummasse ist folgendes zu beachten.

Es können drei verschiedene Übergangsmaße erhoben werden:

a. die Dichte, das ist das Gewicht der Schwebestoffe im Verhältnis zu dem von ihnen verdrängten Wasser,

b. das Gewicht der lose geschütteten Schwebestoffe je Raumeinheit.

Da diese beiden Werte für die Technik wenig Wert haben, kommt als drittes hinzu

c. das Gewicht der festgestampften Schwebestoffe, das den natürlichen Schwebestoffablagerungen nahekommt.

Diese Gewichte werden wie folgt festgestellt.

Zu a. In ein nach Kubikzentimetern geteiltes Meßglas, in dem bis zu einem gewissen Teilstrich Wasser eingefüllt ist, wird so lange Schwebestoff eingeworfen, bis ein beliebig zu wählender zweiter Teilstrich vom Wasser erreicht wird. Der Gewichtsunterschied vor und nach dem Einwerfen gibt das auf die eingeworfene Raummenge entfallende Gewicht; auf die Raumeinheit (cm³) gebracht somit die Dichte. Das Wasser soll bei genauen Messungen 4° C haben.

Zu b und c. In ein Meßglas werden entweder die Schwebestoffe lose (b) bis zu einem bestimmten Teilstrich eingeschüttet oder nach dem Einschütten festgestampft (c) und nunmehr deren Gewicht festgestellt und wieder auf die Raumeinheit bezogen.

Diese Gewichtsfeststellungen sollen von Zeit zu Zeit wiederholt werden, da die Zusammensetzung der Schwebestoffe schwankt.

Unter Verwendung der so erhaltenen Übergangsmasse können die Gewichtswerte des Punktes 6 auf Raumwerte umgerechnet werden.

6. Als ergänzende und erweiternde Beobachtungen zu den vorstehenden Erhebungen kommen in Betracht:

a. die Feststellung der Abnahme (Ablagerung) der Schwebestoffmengen in Stauweihern durch Messung des Schwebestofftriebes im Zu- und Abfluß;

b. in günstigen Flußstrecken die Bestimmung der Anreicherung mit Schwebestoffen durch den Geschiebeabtrieb;

c. die Untersuchung des etwaigen Zusammenhanges von Schwebestofftrieb und Abflußmenge;

d. die Untersuchung der Verteilung von Schwebestoffen im Flußquerschnitt (siehe Punkt 4);

e. die Bestimmung der Korngröße der Schwebestoffe (Mischungslinien);

f. die Untersuchung des Zusammenhanges von Schwebestofftrieb und Wassergeschwindigkeit;

g. die Auslotung der Mündungsgebiete in Seen und der Ablagerungen in Stauweihern mit besonderer Ermittlung der Schwebestoffablagerungen;

h. die Beobachtung der Farbe des Flußwassers;

i. die Beobachtung der Luft- und Wassertemperaturen;

k. die Bestimmung der chemischen und geologischen Beschaffenheit der Schwebestoffe.

B. Geschiebe

In engeren Fachkreisen ist man heute wohl schon auf dem Standpunkte, daß eine Beurteilung von baulichen Maßnahmen an Flußläufen nur dann mit Erfolg durchgeführt werden kann, wenn man in gleichem Maße die

Verhältnisse in bezug auf die Wasserführung wie jene der Geschiebeführung berücksichtigt. Dieser Grundgedanke kann aber nach dem heutigen Stande der Kenntnis über das Geschieberegime nur in wenigen Fällen praktisch zur Anwendung kommen, weil der Mangel an Erhebungsdaten in der Natur noch nicht zur endgültigen Formulierung allgemeiner Gesetze über die Geschiebebewegung geführt hat. Um dem abzuhelfen, soll nunmehr die Geschiebeforschung auf eine breitere Basis gestellt werden; es sollen interessierte Fachkreise aller Nationen zusammen helfen, um in möglichst kurzer Zeit brauchbares Erhebungsmaterial zusammenzubringen. Da es aber angezeigt ist, diese Erhebungen einheitlich zu gestalten, um der späteren Verarbeitung nicht zu große Schwierigkeiten zu bereiten, soll im nachstehenden eine Anleitung gegeben werden, in welcher Art, Aufeinanderfolge und in welchem Umfange derartige Erhebungen in der Natur ausgeführt werden könnten.

Für die Bestimmung der Geschiebemengen in Flüssen werden folgende *Vorschläge gemacht:*

Die Erhebungen sollen umfassen:

1. Die Aufnahme der Zusammensetzung des Materialgemisches (Festlegung der Mischungslinie).
2. Die Peilung von Flußquerprofilen zur Bestimmung der Geschiebestreifenbreite.
3. Die Messung des Geschiebetriebes in einzelnen Flußquerprofilen im Zusammenhange mit vollständigen Geschwindigkeits- und Gefällsmessungen.
4. Die kontinuierliche Messung des Fortschrittes der Verlandung in Stauräumen.

ad 1. Die Entnahme des Geschiebemateriales in der kurrenten Flußstrecke hat womöglich in der Furtstrecke und nur, wenn dort nicht möglich, auf einer Geschiebebank zu erfolgen. Nach Entfernung der groben Deckschicht ist das Probematerial durch Ausheben einer 0,5 bis 1,0 m tiefen Grube zu gewinnen. Hernach hat bei grobem Material die Bestimmung des Anteiles der Mischungsstufen 0 bis 3 mm, 3 bis 5 mm, 5 bis 10 mm, 10 bis 20 mm, 20 bis 30 mm, 30 bis 50 mm, 50 bis 70 mm, 70 bis 100 mm usw. zu erfolgen, wobei die Aussiebung bis etwa 50 mm am zweckmäßigsten mittels eines Schüttelsiebes mit auswechselbarer Siebfläche von 0,5×0,5 m Größe vorzunehmen ist. Man benötigt daher Siebe bzw. Gitter von 3, 5, 10, 20, 30, 50 mm quadratischer Maschenweite. Die größeren Geschiebesorten werden, weil sie gewöhnlich in sehr geringen Mengen vorkommen, mittels einer quadratischen Lehre von 70, 100 mm usw. Weite ermittelt. Bei Materialen, deren größtes Korn weniger als 5 mm beträgt, ist überdies noch die Mischungsstufe 0 bis 3 mm weiterhin mit einem Siebsatze, der Siebe von 3,0, 2,0, 1,0, 0,6 0,1 und 0,06 mm enthält, zu unterteilen.

Die Entnahme von Geschiebematerialien aus Verlandungsräumen hat derart zu erfolgen, daß eine Auswaschung der Probe unbedingt vermieden wird. Aus diesem Grunde wird es sich empfehlen, im Falle die Probe unter Wasser entnommen werden muß, einen Greifbagger zu ver-

wenden, dessen Baggergefäß verläßlich dicht schließt. Die Aussiebung des Materiales hat nach dem gleichen Schema, wie zuvor beschrieben, zu erfolgen.

Die Angabe der Anteile hat auf Grund einer Wägung und einer Raummessung zu erfolgen. Die Meßstelle ist nach Flußkilometer festzulegen und soll womöglich photographiert werden. Dem Messungsresultat sind Bemerkungen über erwähnenswerte Beobachtungen hinsichtlich Form, geologische Beschaffenheit des Geschiebes, Unregelmäßigkeiten in der Geschiebeablagerung usw. anzuschließen.

ad 2. Die Peilungen sind mittels einer mit stumpfer Spitze versehenen Peilstange auszuführen, wobei gefühlsmäßig eine Ermittlung des „weichen" Flußgrundes zu erfolgen hat. Die gleichzeitige Vornahme

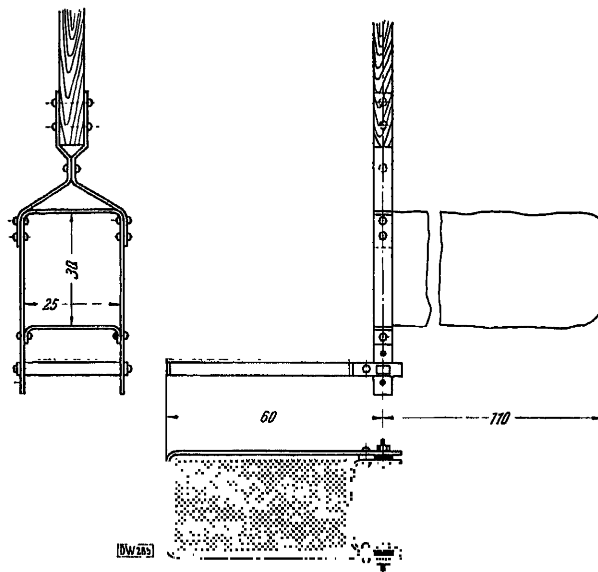


Abb. 2.

einer vollständigen Flügelmessung oder wenigstens einer Messung der Oberflächengeschwindigkeit ist erwünscht.

ad 3. Die Messungen des Geschiebetriebes, welche bei verschiedenen Wasserständen zu erfolgen haben, werden am zweckmäßigsten mit Hilfe eines Meßgerätes vorgenommen, wie es in Abb. 2 dargestellt ist.

Dieses Meßgerät besteht in der Hauptsache aus einem Fangbeutel, unter dem eine Bodenplatte aus großmaschigem Drahtgeflecht verschiebbar angebracht ist. Die Bodenplatte soll das Eindringen des durch diese Vorrichtung etwa aufgewühlten Sohlenmateriales in den Fangbeutel verhindern.

Das Meßgerät wird von einem im Flusse verankerten Doppelschiff aus gehandhabt. (Siehe hierüber: „Neue Grundlagen für die Berechnung

der Geschiebeführung in Flußläufen" von Dr. *F. Schaffernak*, Verlag Franz Deuticke, Wien 1922.)

In allen Flußprofilen, wo Geschiebemengenmessungen vorgenommen werden, müssen kontinuierliche Schwebestoffmessungen durchgeführt werden.

ad 4. Die Festlegung der Veränderungen des Stauraumes hat durch hinreichend dicht gelegte Querprofile zu erfolgen. Flußaufwärts solcher Verlandungsräume sind nach Möglichkeit Messungen des Geschiebetriebes und der Schwebestoffmengen nach ad 3. vorzunehmen.

Summary

The Austrian National Committee recommends in accordance with a decision come to at the Sectional Meeting of the World Power Conference at Basle in 1926, the proposals made by Professors *Halter* and *Schaffernak* and Oberbaurat *Rosenauer* for investigating the quantities of detritus and matter in suspension carried by rivers.

All flowing water, including brooks, streams and rivers, carries solid constituents subject to continual changes in shape and size during their progression. Under the influence of physical and chemical actions the detritus is gradually worn away and ground down to sand and fine particles in suspension. Thus flowing water carries with it detritus and matter in suspension, the former being chiefly confined to the bed of the stream though there is no distinct line of demarcation between the two, as any demarcation there may exist varies with the condition and quantity of the water, the head and the nature of the river bed. If the flow of the water is impeded, it can no longer carry away solid matter. Every time water is stored, alluvial deposits are formed and these reduce the useful storage capacity. Engineers have accordingly sought means of preventing or reducing the formation of alluvial deposits. In order to attain this object it is necessary in the first place to ascertain the extent of such deposits in a given period of time; this requires systematic investigation while the period over which a storage area will fulfill the functions for which it is intended likewise necessitates careful calculation.

The natural laws governing the movement of detritus differ from those obtaining for the movement of matter in suspension, so that the methods which must be adopted in observing and measuring the movement of solid matter are also different.

Suggestions are made and methods described for determining the quantities of matter in suspension and of detritus in streams and rivers.

Rußland

Die Arbeiten des „ZAHI“ auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie in der U.d.S.S.R.

Zentrales Aero Hydrodynamisches Institut

Ing. W. R. Sektorow

Die wissenschaftlich-technische Arbeit des Zentralen Aero-Hydrodynamischen Instituts in Moskau auf dem Gebiete der Erforschung der Ausnutzung der Windenergie zerfällt in einige Sonderaufgaben, und zwar a) Berechnung der vorhandenen Windenergiemengen und Studium ihrer Verteilung in der Union, zumal in den Gegenden, wo ihre Verwertung als lohnend bezeichnet wird; b) Konstruktionsarbeit auf dem Gebiete des Baues von Windkraftwerken, c) wissenschaftliche Prüfung von Windmotoren und anderer Einrichtungen der Windkraftwerke und d) Leitung des Versuchsbaues von Windkraftanlagen.

Eine rationelle Verwertung der Windenergie erfordert Feststellung der vorhandenen Mengen dieser Energiequelle. Es muß hier vor allem die Tatsache konstatiert werden, daß, trotzdem die verfügbare Windenergie sämtliche in der Welt festgestellten Reserven an Energiequellen übertrifft (nach vorsichtiger Schätzung: in der ganzen Welt um das 4,4fache und in der Sowjetunion um das 5,9fache), ihrer Feststellung nicht die nötige Aufmerksamkeit zugewandt wird. Die Berechnung und das Studium der Verteilung der Windenergie im Lande werden außerordentlich dadurch erschwert, daß in der Vorkriegszeit alle Ressorts, denen die Beobachtung der Windstärke und Richtung oblag, trotz der damals stellenweise zahlreichen dörflichen Windmühlen, sich überhaupt nicht um die Ausnutzung des Windes als Energiequelle kümmerten. Auch das genügend entwickelte Netz meteorologischer Stationen jener Zeit ließ sich bei seinen Beobachtungen nicht von diesem Gesichtspunkt leiten. Außerdem lag ein Teil dieser Stationen in windgeschützten Gegenden, während die Messungen des Windes zu Kraftzwecken an offenen Stellen vorgenommen werden müssen. Endlich waren die Meßinstrumente einiger Stationen so angeordnet, daß die sie treffenden Luftströme von benachbarten Gegenständen beeinflußt waren.

An Hand von Beschreibungen aller 1387 meteorologischer Stationen des europäischen Teils der Sowjetunion vermochte das Institut die sehr ungleichartigen Eintragungen der Windgeschwindigkeiten unter die gleichen Bedingungen zu bringen, die für die Einrichtung von Wind-

kraftanlagen im Bereich der meteorologischen Station maßgebend sind. Als Norm wurden 15 m über dem Erdboden gelegene, durch nichts behinderte Punkte angenommen. Die Werte für Korrekturen der beobachteten Geschwindigkeiten wurden dadurch bestimmt, daß Modelle der meteorologischen Stationen im aerodynamischen Rohr einem Luftstrom ausgesetzt wurden. Auf Grund der so erhaltenen Ergebnisse wurde dann von dem Mitarbeiter des Instituts, *N. W. Krassowski*, eine Karte[1] der mittleren Windgeschwindigkeiten des Jahres ausgearbeitet, die für annähernde wirtschaftliche Berechnungen zur Ausnützung des Windes im westlichen Teil der U.d.S.S.R. als Grundlage dienen konnte.

Das Institut begann seit 1928 ein Spezialnetz von Beobachtungsstellen zu errichten, um genauere Angaben über den Wind in jenen Gegenden zu erhalten, wo in erster Linie Windkraftanlagen zu Versuchszwecken errichtet werden sollten. Gegenwärtig sind vom Institut in der Krim 3 Anemographen (System Wilde-Freiberg) mit elektrischer Übertragung aufgestellt worden, da die ersten Versuche mit der Errichtung von größeren Windkraftanlagen zu Elektrifizierungszwecken, von denen weiter unten gesprochen werden wird, in dieser Gegend gemacht werden sollen.

Ein zweites Netz von Anemographen desselben Systems, bestehend aus 7 Einheiten, wird im kommenden Jahre in Turkestan geschaffen, wo die Windenergie vorwiegend für mechanische Bewässerung ausgenützt werden soll. In Gegenden, die hohen Windstärken ausgesetzt sind, werden in den anemographischen Stationen des Instituts außerdem Sturmmesser, System Holzmann, aufgestellt, um die Grenzwerte der Windstöße registrieren zu können, deren Kenntnis für Festigkeitsberechnungen der Windräder unentbehrlich ist. Die Aufstellung der Apparate erfolgt überall in gleicher Weise, an vollkommen offenen Stellen, 15 m über dem Erdboden und in den meisten Fällen auf eisernen genieteten Masten. Die mit automatischen Registrierungsvorrichtungen ausgerüsteten Stationen werden Stützpunkte sein, die eine langjährige Beobachtung der Windverhältnisse in der betreffenden Gegend ermöglichen.

Außerdem wird in jeder untersuchten Gegend eine mit diesen Stützpunkten verbundene, kurzfristige anemometrische Aufnahme aller charakteristischen Punkte des Territoriums durchgeführt werden, die über die Abhängigkeit der Windverhältnisse von dem Bodenrelief Aufschluß gibt.

Die zweite Aufgabe des Instituts ist die Konstruktion der Windmotoren. Sie besteht darin, daß das Institut rationelle Typen von Windmotoren ausarbeitet und sie den Fabriken für die Organisierung einer Massenproduktion liefert.

Die auch früher unzureichend organisierte windenergetische Wirtschaft des Landes ist in den Kriegsjahren vollständig in Verfall geraten. Die fabrikmäßige Herstellung von Windmotoren hat aufgehört. Seit einigen Jahren wird nun wieder an der Entwicklung der Windmotoren-

[1] S. „Arbeiten der IX. Elektrotechnischen Tagung der Sowjetunion". Lief. B — 19.

produktion gearbeitet, und es ist daher angezeigt, daß man nach neuen, vollkommeneren Typen sucht und sich nicht auf die Nachahmung der alten beschränkt. Das Bestreben, eine möglichst leichte und billige Konstruktion auszuwählen, führte dazu, daß unsere Fachleute bei der Konstruktion von Windrädern mit einem Durchmesser von mehr als 8 m dem Schnelläufer mit rationellem aerodynamischem Flügelprofil eigener Bauart den Vorzug gaben. Dagegen hielt es das Institut für geringere Durchmesser für zweckmäßig, den früheren vielflügeligen Radtypus lediglich zu vervollkommnen, da er in der Herstellung einfacher und in Verbindung mit Wasserpumpen einer geringeren Übersetzung bedarf. Der letztere Typus schließt indessen nicht aus, daß bei kleineren elektrischen Anlagen Propeller mit Vorteil verwendet werden können.



Abb. 1. Schematische Darstellung der Flügel eines Schnelläufers System ZAHI

Die vom Institut vorgeschlagene Schnelläuferkonstruktion (A. H. *Krassowski* und *G. Ch. Sabinin*) hat an den Längsachsen freischwingende Flügel aus Metall oder aus Metall und Holz. Der Querschnitt der Flügel hat eine richtige aerodynamische Form. Die Flügel sind mit Steuerflügeln „A" versehen, deren Anstellwinkel von der Stellung der innerhalb der Flügel gelagerten, zentrifugal wirkenden Gewichte „*B*" abhängen (Abb. 1). Bei geringen Windgeschwindigkeiten wird den Flügeln durch die Steuerflügel ein im Verhältnis zum relativen Arbeitsstrom vorteilhaftester Anstellwinkel gegeben, wodurch im Gegensatz zu einfachen Schnelläufern ein sehr günstiges Anlaufmoment erzielt wird. Wenn die äußerste Windgeschwindigkeit erreicht wird, schwenkt dieselbe Vorrichtung die Flügel bis zu einem gewissen Grade aus dem Winde aus und regelt auf diese Weise eine konstante Drehzahl des Rades. Die um ihre Achse frei schwingenden Flügel gewährleisten so nicht nur ein gutes Anlaufmoment, sondern schützen auch das Windrad bei Stürmen.

Der erste Windmotor dieses Systems ist vom Institut im Jahre 1925 in der Naphthaindustrie „Asneft" bei Baku (Abb. 2) aufgestellt und dem Betrieb übergeben worden. Der Motor der geschilderten Art,

aus Holz und Metall gebaut, mit 3 Flügeln und einem Raddurchmesser von 14 m ist auf einen alten Bohrturm montiert worden. Die Schwankungen der Drehzahlen betrugen $\pm$ 3,5% der normalen. Die Schnellläufigkeit der Flügel, d. h. das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit der Flügelspitze zur Windgeschwindigkeit, ist (rechnungsmäßig) $z = 5$. Der Motor treibt eine Gruppe von 6 Tiefbrunnenpumpen. In der Beobachtungszeit von 7 Monaten pumpte der Windmotor 85% der ganzen Naphthamenge, den Rest leistete ein Reserveölmotor. Die an sich ausreichende Betriebsdauer läßt indessen kein Urteil über

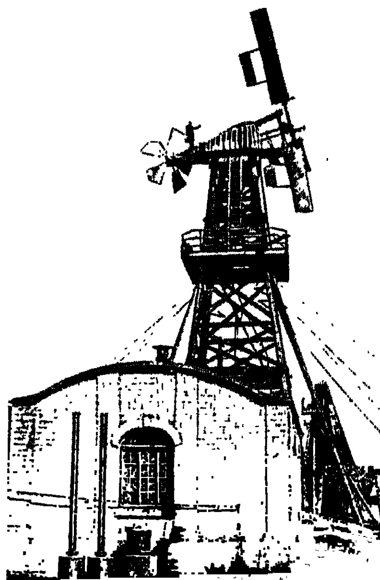


Abb. 2. Windkraftanlage ZAHI in Baku (Raddurchmesser 14 m).

die Rentabilität der Anlage zu, da der zu Versuchszwecken hergestellte Windmotor keine Rückschlüsse auf die fabrikmäßigen normalen Herstellungskosten ermöglicht.

Im Jahre 1928 wurde ein Versuchsserienmotor desselben Systems mit einem Raddurchmesser von 8 m gebaut, der für die Zwecke der landwirtschaftlichen Wasserversorgung und Bewässerung am geeignetsten schien. Es wurden Fabrikationszeichnungen für diesen Motor hergestellt und mit einem unserer Maschinenbauwerke ein Vertrag zwecks serienweiser Herstellung dieses Typs abgeschlossen. Die ersten Lieferungen fielen in das Jahr 1929. Gegenwärtig ist eine Reihe dieser Windmotoren bereits aufgestellt und in Betrieb genommen. Auf Abb. 3 ist ein Windmotor mit Pumpwerk im Odessaer Gebiet dargestellt. Er besitzt ebenfalls 3 selbsteinstellende und selbstregulierende Metallflügel von der oben geschilderten Art. Die Einstellung des Rades quer

zur Windrichtung erfolgt durch eine einfache Windfahne. Das Werk liefert den Windmotor in der Regel mit einem eisernen Turm von 16 m Höhe. Der Kopf des Motors ist mit Vertikalwelle und Zahnrad mit der unten gelagerten Arbeitsmaschine verbunden. Die Drehzahl der Flügelwelle beträgt 50 U/min; das Gewicht des Motors ohne Turm 2000 kg; die Leistung 6 PS bei einem Winde von 7 m/s.

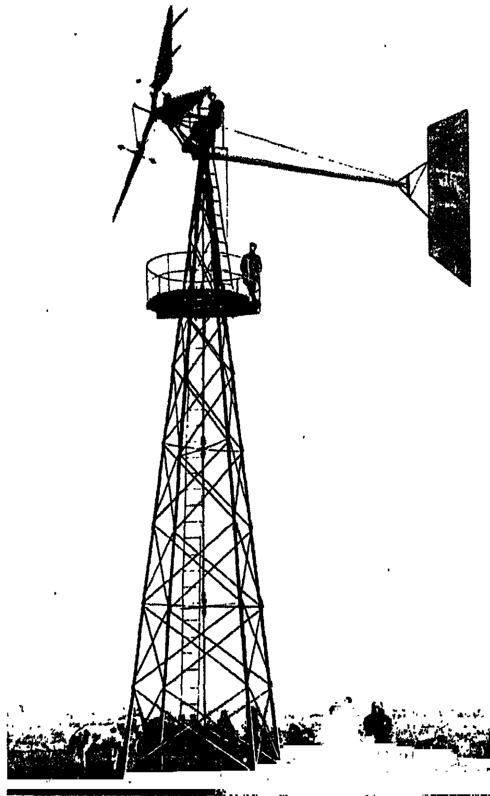


Abb. 3. Windmotor ZAHI mit Pumpwerk (Raddurchmesser 8 m).

Das Institut arbeitet im laufenden Jahre drei für Massenherstellung bestimmte Konstruktionen von Windmotoren aus: Schnelläufer mit einem Durchmesser von 12 m und vielflügelige Langsamläufer von 5 und 3 m, von welchen die Fabrikationszeichnungen für den Motor von 5 m dem Werke bereits übergeben sind. Im Laufe des fünfjährigen Wirtschaftsplanes 1929 bis 1933 ist eine weitereHerstellung von Windmotoren mit einem Durchmesser von 4, 6, 16 und 30 m in Aussicht gestellt. Dieses in den allgemeinen Maschinenbauplan des Jahr-

fünfts eingegliederte Programm der Konstruktionsarbeiten des Instituts wird von ihm in engem Kontakt mit der Industrie ausgeführt, von der die Konstruktionsarbeiten des Instituts finanziert werden. Dieses Programm leitet die Entwicklung des Baus von Windmotoren im Lande im großen Fabrikmaßstab ein.

Auf Abb. 4 werden die Leistungskurven eines ZAHI-Windmotors mit einem Durchmesser von 8 m gegeben, der gegenwärtig geliefert wird; es sind Ergebnisse der Prüfungen, die vom Windenergetischen Laboratorium des Instituts vorgenommen wurden. Auf der Abszissen-

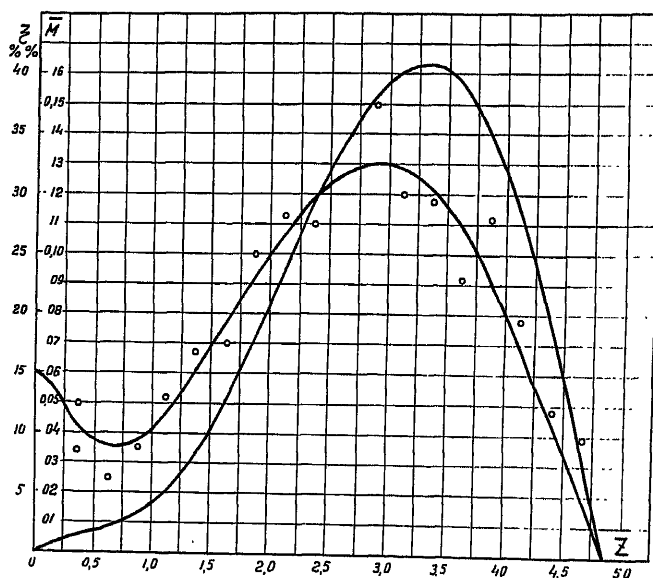


Abb. 4. Leistungskurven des Schnelläufers ZAHI.

achse ist der Wert „z“ eingezeichnet (Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit zur entsprechenden Windgeschwindigkeit). Auf der Ordinatenachse ist das relative Drehmoment des Rades $\bar{M} = \dfrac{M}{\varrho \dfrac{\pi D^2}{4} \cdot \dfrac{D}{2} \cdot \dfrac{v^2}{2}}$ eingezeichnet, wo M = wirkliches Drehmoment in kgm ϱ = Luftdichte, D = Raddurchmesser und v = Windgeschwindigkeit. Nach der Charakteristik dieses Rades ergab sich der beste Wirkungsgrad der Ausnützung der Windenergie in den Prüfungen bei $\xi = 0{,}41 \left(\xi = \bar{M} Z = \dfrac{2\,P}{\varrho\,\pi\,R^2\,v^3}\right)$, wo P Leistung, ϱ = Luftdichte, R = Radius des Rades und v = Windgeschwindigkeit ist.

Die aerodynamischen Prüfungen im Laboratorium des Instituts, welchen alle vom Institut neuerbauten Versuchsexemplare der Flügel und auch von außerhalb gelieferte Räder anderer Systeme unterzogen

werden, bestehen in der Regel in der Aufnahme der charakteristischen Kurven des Rades bei verschiedenen Arbeitsverhältnissen. Die Versuchskonstruktionen der Räder werden auch mit verschiedener Lage seiner Regulierungselemente geprüft, um den Einfluß eines jeden dieser Elemente auf die Charakteristik des Rades und seine Regulierbarkeit erschöpfend festzustellen. Die Konstruktionen der vom Konstruktions-

Abb. 5. Schaltungsschema der Meß- und Kontrollinstrumente des Windkraftlaboratoriums.

büro des Instituts gebauten Flügel sind das Ergebnis einer langen Forschungsarbeit des Laboratoriums.

Das Windenergetische Laboratorium befindet sich auf einem speziell erbauten Backsteinturm eines Gebäudes des Instituts; auf der Spitze des Turmes ist eine Eisenbaukonstruktion mit dem experimentellen Zwecken dienenden Windmotorkopf errichtet. Die Radachse befindet sich 43 m über dem Erdboden. Die Konstruktion des Kopfes gestattet ein leichtes Auswechseln von Windrädern bis zu 10 m Durchmesser auf derselben Achse. Räder von größeren Ausmaßen werden in ver-

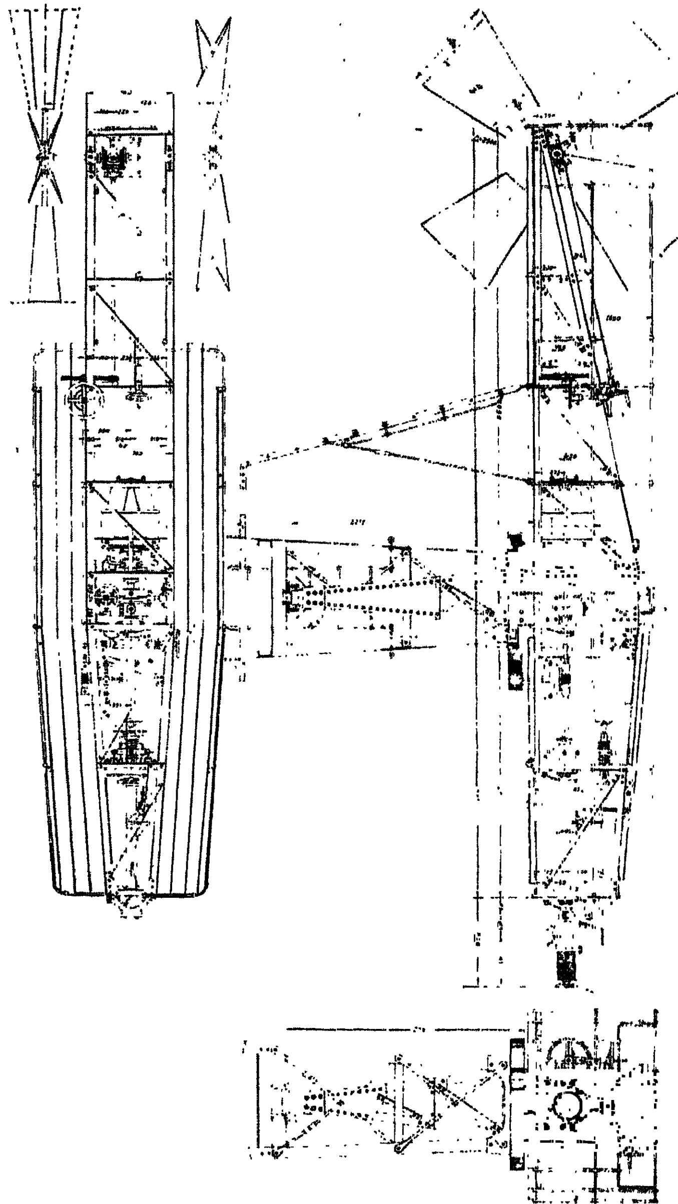


Abb. 6. Kopf der Laboratoriums-Windkraftanlage.

kleinertem Maßstabe auf demselben Kopf oder im aerodynamischen Rohr geprüft. Der Kopf ist von einer Plattform umgeben, die die Montage der Räder und die Beobachtung der Arbeiten ermöglicht. Die Belastung der zu prüfenden Räder erfolgt durch einen Gleichstromdynamo von 4,7 kW 220 V, mit selbständiger Erregung und Differential-Compoundwicklung. Die Energie des Dynamos wird in das städtische Dreiphasen-Stromnetz geleitet, und zwar mit Hilfe eines Aggregats: Gleichstrommotor-Asynchrongenerator. Das Dynamo ist durch 2 Paar Zahnräder

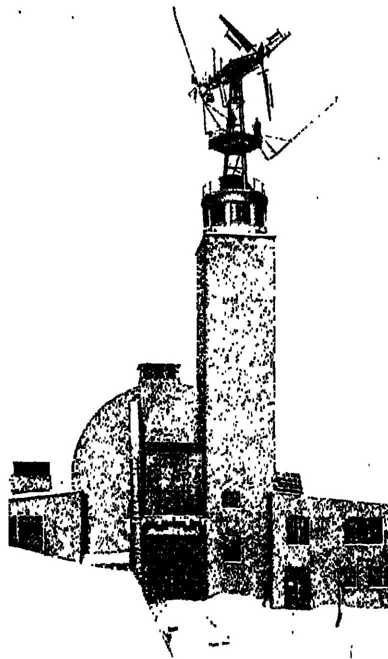


Abb. 7. Äußere Ansicht des Windkraftlaboratoriums ZAHI.

mit der Radachse verbunden, der Stator des Dynamos aber ist auf Lagern angeordnet, damit er mit der Steigerung des Drehmoments unter Überwindung der Federn des Dynamometers einen gewissen Winkel um seine Achse ausführen kann. Die Fixierung des vom Windmotor entwickelten Drehmoments geschieht in folgender Weise. Ein Spannungsschreiber registriert die Differenz der Potentiale zwischen einer Klemme des Potentiometers und einem beweglichen Kontakt, der auf dem Gehäuse des Dynamos starr befestigt ist. Bei einer Abweichung des Gehäuses führt die Veränderung der Kontaktlage auch zu einer Veränderung der Differenz der Potentialen, und zwar proportional der Größe des Drehmoments des Windmotors. Während der Versuche können auch der Stirndruck des Windes auf das Rad, die Drehzahl der Achse und die Windgeschwindigkeit registriert werden. Die

letztere wird an zwei Punkten, seitwärts vom Windrade in seiner Drehebene durch Elektroanemometer gemessen, die auf zwei, an der drehbaren Plattform angebrachten Rohrmasten montiert sind. Die Elektroanemometer registrieren die Windgeschwindigkeit direkt in m/s, und ihre Ankerwicklungen sind so hintereinander geschaltet, daß der Registrierapparat das Mittel der beiden Angaben notiert. Alle Meß- und Kontrollvorrichtungen sind im heizbaren Raum im oberen Teil des Turms angeordnet, so daß die Versuche das ganze Jahr hindurch ausgeführt werden können. Das Gangwerk der Trommeln der Registriervorrichtungen ist für eine Eintragung von 6 min eingestellt bei einer Länge der Diagramme von 270 mm. Vor jeder Prüfung werden die Meßinstrumente auf Null eingestellt und das Tachometer justiert. Häufige Justierung der übrigen Apparate sichert eine große Präzision der Messungen. Solche Präzisionsapparate, wie die Elektroanemometer, werden nur bei den Versuchen auf Masten aufgestellt. Für die Registrierung der täglichen Windstärke gibt es im Laboratorium außerdem ein Anemosinemograph von *Richard*, das ebenso wie die Elektroanemometer die absolute Größe der Windgeschwindigkeit registriert, diese Registrierung jedoch über ein ganzes Jahr erstreckt. Das recht komplizierte Schema elektrischer Schaltungen der Meß- und Kontrollinstrumente des Laboratoriums ist aus Abb. 5 ersichtlich. Abb. 6 zeigt den Kopf der Windkraftanlage des Laboratoriums und Abb. 7 die äußere Ansicht des Gebäudes.

Prof. *N. J. Schukowski* bestimmte 1920 theoretisch den idealen Wirkungsgrad der Ausnützung der Windenergie $\xi_{max} = 0{,}593$. Im Jahre 1928 wurde von *G. Ch. Ssabinin* in seiner Theorie des idealen Windrades der theoretischen Größe dieses Koeffizienten bestimmt $\xi_{max} = 0{,}687$.

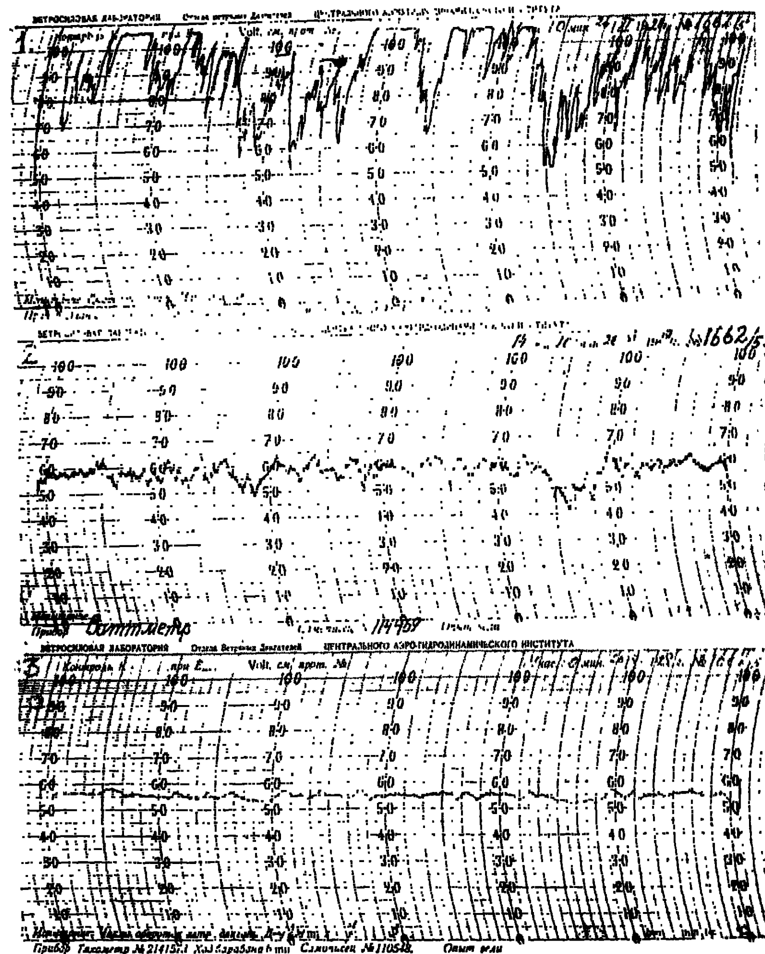
Bei der Verarbeitung der Versuchsergebnisse wurde der Wirkungsgrad ξ nach dem mittleren Wert eines Diagrammabschnittes von 1 min bestimmt. Für die Berechnung des Wirkungsgrades werden niemals die notierten Augenblickswerte genommen, da das Windrad infolge des Trägheitsmoments wie ein Schwungrad wirkt, bei abgeschwächtem Winde eine Zeitlang eine höhere Leistung aufweist, als ein gleichmäßiger Wind von der gleichen Stärke hergeben kann, und umgekehrt, bei anwachsender Windgeschwindigkeit aus dem gleichen Grunde, nicht sofort seine Volleistung entwickelt. Der an einzelnen Punkten des Diagramms abgelesene Wirkungsgrad würde im ersten Fall einen übertriebenen, im letzteren einen zu geringen Wert ergeben. Wir sind überzeugt, daß die in der Fachliteratur häufig vorhandenen, zweifellos übertriebenen, oft sogar über den theoretischen Idealwert hinausgehenden (*Schukowski* $\xi_{max} = 0{,}593$ und *Ssabinin* $\xi_{max} = 0{,}687$) Angaben, eine Folge der bei den Messungen angewandten unrichtigen Methoden sind.

Im Laufe der letzten Jahre wurde vom Windenergetischen Laboratorium im Zusammenhang mit dem begonnenen Bau einer großen windelektrischen Versuchsanlage in der Krim (von der weiter unten die Rede sein wird) eine Prüfung des Modells dieser Anlage vorgenommen. Das Modell bestand aus einem dreiflügeligen Windrad, System

ZAHI, Durchmesser von 10,04 m, $z = 6$ mit einem asynchronen Dreiphasengenerator von 5 PS, 220 V, 750 s. U/min, 50 Per/s. Der Generator wurde von dem städtischen Dreiphasennetz erregt; die bei den Prüfungen erzeugte elektrische Energie wurde demselben städtischen Netz zugeführt. Man stellte sich bei diesen Prüfungen die Aufgabe, die Möglichkeit der Arbeit des Asynchrongenerators mit einem Windmotor System ZAHI festzustellen und ferner die einzelnen Elemente des Schemas der automatischen Einrichtungen der Anlage zu kontrollieren. Diese bestanden aus einem zentrifugal wirkenden Schaltmechanismus, einem dreipoligen Schalter, einem Rückstromrelais und einer besonderen, das Windrad senkrecht zur Windrichtung einstellenden Vorrichtung, bestehend aus einem mit Windfahne dirigierten kurzgeschlossenen Drehstrommotor von 1 PS und einem speziellen Relais. Die Funktion dieser Elemente bestand in folgendem. Wenn der Generator eine Drehzahl erreichte, die etwas über der synchronen Grenze lag, schloß der auf dem zentrifugalen Mechanismus angeordnete Kontakt den Stromkreis der einschaltenden Spule, und die vom Generator entwickelte Energie begann sich in das Stromnetz zu ergießen. Bei Nachlassen des Windes und Herabsetzung der Drehzahl bis zur Synchrongrenze schaltete sich der automatische Schalter mit Hilfe eines Rückstromrelais aus. Als Generator kam ein normaler Motor mit Schleifringen zur Anwendung, dessen Lagerschilde entsprechend der Einrichtung des zu Versuchszwecken dienenden Windradkopfes abgeändert werden mußten, da dieser nur eine auf besonderen Lagern hängende Anordnung des Generators gestattet.

In den Stromkreis des Rotors wurde ein Stufendrahtwiderstand eingeschaltet, mit dessen Hilfe Prüfungen mit verschiedenen Widerständen vorgenommen werden konnten, die den Zweck hatten, die Drehzahl des Generators entsprechend der normalen Leistung zu steigern und ihn bei ungleichmäßigem Gang des Windrades und gesteigerter Drehzahl vor Überlastungen zu schützen. Der Widerstand konnte unter denselben Verhältnissen auf Wunsch automatisch stufenweise eingeschaltet werden, zu welchem Zwecke die schwingende Anordnung des Generators in der Weise ausgenutzt wurde, daß die Einschaltung des Widerstandes durch eine Wendung der Bürsten mechanisch verbunden war mit der durch die Steigerung seines Drehmoments herbeigeführten Wendung des Generatorständers. Die am Vorderteil des Kopfes im Mittelpunkt des Windrades angeordnete kleine Windfahne war mit einem Dämpfer versehen und in ihrer zur Ebene des Windrades senkrechten Lage durch Federn festgehalten. Entsprechend der Änderung der Windrichtung wurde mittels eines der beiden Kontakte der Windfahne der Stromkreise des Relais geschlossen, das zwei zum Elektromotor führende Phasenleitungen umschaltete und den letzteren zwang, den Kopf des Windmotors zu drehen, bis er sich wieder gegen den Wind einstellte. In Abb. 8 ist ein 6-Minuten-Diagramm wiedergegeben, das von der automatischen Registriervorrichtung während der Prüfungen aufgenommen wurde und das eine Vorstellung vermittelt von den üblichen, durch den Wind hervorgerufenen Leistungsschwan-

kungen. In Abb. 9 ist eine Kurve der Beziehung zwischen der Leistung und der Schlüpfung des Generators bei automatischer Einschaltung des Wiederstandes in den Rotorkreis wiedergegeben; dieser Kurve liegen die Prüfungsdiagramme zugrunde.



1 (von oben) Windgeschwindigkeit. 2 Leistung des Generators. 3 Drehzahl des Windrades

Abb. 8. Arbeitsdiagramme für 6 Minuten des Schnelläufers ZAHI mit dem Asynchrongenerator.

Diese Anordnung erwies sich als befriedigend. Sie zeigte, daß das vorgeschlagene Arbeitsschema in der Krimschen Anlage realisiert werden kann.

In letzter Zeit machte sich auf dem Gebiete der experimentellen Arbeit immer mehr das Bedürfnis geltend, einzelne Teile der wind-

elektrischen Anlagen eingehend zu untersuchen und auch ganze Windkraftanlagen einer längeren Prüfung zu unterziehen, als sie bisher in dem zur Verfügung stehenden Windenergetischen Laboratorium möglich war. Das Institut beschloß, zu diesem Zwecke 1930/31 ein neues Windelektrotechnisches Laboratorium zu bauen und das vorhandene Windenergetische Laboratorium ausschließlich für aerodynamische Prüfungen von Windradflügeln einzurichten. Zu den Aufgaben des neuen Laboratoriums wird es gehören, die Arbeit der Windmotoren mit verschiedenen Generatoren und Werkmaschinen zu untersuchen, einzelne Elemente der elektrischen Ausrüstung und ganze Aggregate der Windkraftanlagen auf Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit hin zu prüfen. Nach der Inbetriebsetzung des neuen Laboratoriums wird

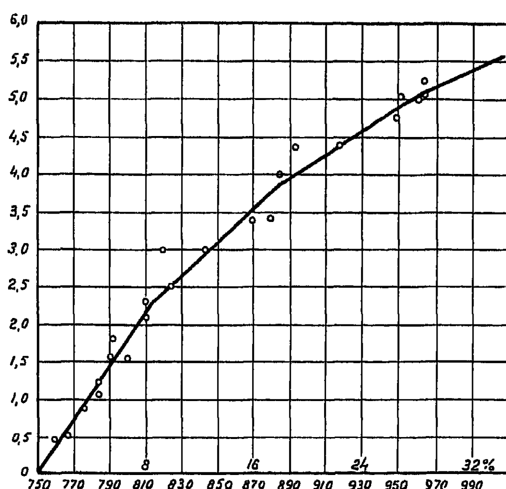


Abb. 9. Abhängigkeit der Leistung eines Asynchrongenerators in seiner Schlüpfung.

es zur Regel gemacht werden, daß die zu prüfenden Windkraftanlagen stets zunächst vom aerodynamischen Gesichtspunkte aus im Windenergetischen Laboratorium geprüft werden, worauf die ganze Anlage in ihrer Gesamtheit im neuen Laboratorium einer eingehenden Untersuchung unterzogen wird.

Wie bereits erwähnt, verlegt das Windenergetische Laboratorium einen Teil der Prüfungen der Radflügel in das aerodynamische Rohr in der Experementellen Abteilung des Instituts. Abb. 10 ist eine photographische Aufnahme der Prüfung eines „Samson"-Windmotors von 3,7 m Durchmesser, bei der die Steuerbarkeit und Regulierbarkeit dieses Radtypus untersucht wird.

Bei der Schilderung der Versuchsarbeiten des Instituts auf dem Gebiete der Windausnutzung kann die enge Beziehung nicht unerwähnt bleiben, die zwischen dem ZAHI und dem Staatlichen Geophysischen Institut (Kutschino bei Moskau) besteht, dem vom ZAHI die Ausarbeitung einer Reihe rein wissenschaftlicher Probleme und Experi-

mente im aerodynamischen Rohr überlassen wird, da die eigenen Rol des Instituts außerordentlich beansprucht sind. Erst nach Fert-stellung eines speziellen, zur Prüfung der Windradmodelle bestimmt Rohres wird das ZAHI auch diese Arbeiten selbst ausführen könne. Eine große Reihe wissenschaftlicher, von den Mitarbeitern des Instit in der Presse veröffentlichten Arbeiten beschäftigen sich mit den

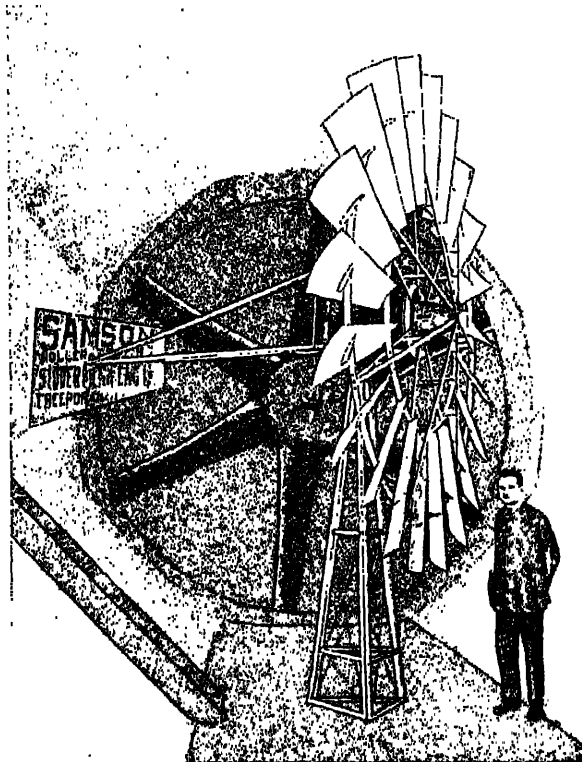


Abb. 10. Prüfung eines Windrades im Windkanal des Instituts (3,7 m Durchm.)

Kutschinschen Laboratorium ausgearbeiteten Fragen, so z. B. „Charakteristik der Windräder im Zusammenhange mit der Windrichtung" und „Der hydroskopische Effekt des Windmotors" von *G. Ch. Ssabinin*

Unter den letzten im Druck erschienenen Arbeiten des Instituts ist auf die Arbeit von *N. W. Krassowski*, „Methoden der Berechnung der Windkraftanlagen" hinzuweisen, in der vom Verfasser zum erstenmal eine bestimmte Methode für die Berechnung dieser Kraftanlagen aufgestellt und die jahrelangen Berechnungen des ZAHI auf dem Gebiete der Wirtschaftlichkeit der Windkraftanlage resumiert wird. Die von uns vorgenommenen, in der Veröffentlichung von *N. W. Krassowski* als Beispiel geschilderten Berechnungen zeigen, daß bei isolierten Wind-

kraftanlagen aller Art Akkumulatoren und Reservemotoren in gleicher Weise unrentabel sind. Eine Ausnahme bildet vielleicht der hydraulische Akkumulator, aber auch dieser nur unter gewissen, für ihn besonders günstigen natürlichen Verhältnissen, wobei aber die Baukosten eines solchen Akkumulators auch in diesem Falle sehr beträchtlich bleiben. Einen größeren Vorteil bietet der Fall, wenn die Erzeugung elektrischer Energie von einer Windkraftanlage nur als ein Hilfsbetrieb gedacht ist, der eine elektrische, industriellen Zwecken dienende Kraftanlage unterstützt. Infolge der hohen Kosten, die eine windelektrische Anlage mit ihrer nicht zu umgehenden Akkumulatorenbatterie mit sich bringt, haben Großanlagen dieser Art nur eine verschwindend kleine Verbreitung gefunden. Das Anwendungsgebiet der Windräder beschränkt sich wie ehedem lediglich auf den Antrieb von Mühlen und die landwirtschaftliche Wasserversorgung.

Ausreichend rentabel ist dagegen der recht selten realisierte Fall, bei dem die windelektrische Großkraftanlage ein von anderen Dampf- oder Wasserkraftanlagen gespeistes Stromnetz parallel unterstützen, denn in diesem Falle bedarf es keiner Akkumulationsvorrichtungen, und der Brennstoff- oder Wasserverbrauch der Hauptkraftanlage kann gespart werden. Besonders vorteilhaft ist der letzte Fall, wenn das parallel arbeitende Wasserkraftwerk die Möglichkeit hat, den Abfluß des Wassers anhaltend zu regulieren, dagegen die hydrologischen Flußverhältnisse den vollen Energiebedarf des zu versorgenden Gebietes nicht zu decken vermögen. Die Parallelarbeit mit einer Dampfkraftanlage ist aus dem Grunde weniger vorteilhaft, weil sie auch während der Arbeit der Windkraftanlage unter Dampf gehalten werden muß, wodurch unrationelle Ausgaben verursacht werden. Es ist bekannt, daß die Tages- und Jahreswindstärke im größten Teil der U.d.S.S.R. eine sich an die Sinuslinie annähernde Kurve bildet, mit einem Tagesmaximum um 12 Uhr Mittags und einem Jahresmaximum in den Wintermonaten. Soweit werden die Dampf- und Wasserkraftanlagen vor allem des Abends und in den Sommermonaten einen großen Teil des Energiebedarfs zu decken haben, wenn die Belastung des Stromnetzes geringer wird.

Wenn man berücksichtigt, daß die Windkraftanlage nach diesem Schema neben anderen elektrischen Kraftanlagen jeden beliebigen Stromkreis, auch das Drehstromnetz, zu speisen vermögen, so gewinnt die Windenergie auf dem Gebiete der Elektrifizierung eine Bedeutung, die weit über die der früheren landwirtschaftlichen Anlagen hinausgeht. Der Wind wird dadurch plötzlich zu einem wichtigen Faktor der Elektrifizierung. Von technischer Seite aus ist die Arbeit der windelektrischen Anlagen in ähnlicher Weise zu deuten wie diejenigen in Europa und Amerika bestehenden kleinen automatischen Wasserkraftanlagen, die ihre Energie dem gemeinsamen Stromnetz zuführen, wenn sie an der Quelle verfügbar ist.

Das Institut hat seinen Arbeiten auf dem Gebiete der Ausnützung des Windes für die elektrische Kraftversorgung eben dieses Schema zugrunde gelegt. Die vorläufigen theoretischen Berechnungen des

Instituts zeigen ihre Rentabilität. Indessen können die vorgenommenen, auf keinerlei Erfahrungsmaterial gestützten und von einer Reihe noch nicht nachgeprüfter Größen ausgehenden Berechnungen über die Wirtschaftlichkeit dieses Arbeitsschemas der windelektrischen Anlagen, mit Rücksicht auf die neuen damit verbundenen Probleme, noch nicht als ausreichend angesehen werden.

Zu den Fragen, die einer praktischen Nachprüfung bedürfen, sind zu rechnen: die tatsächlich vorhandene Menge der Windenergie und ihre Verteilung im Bereiche des geplanten Windkraftwerkes; Her-

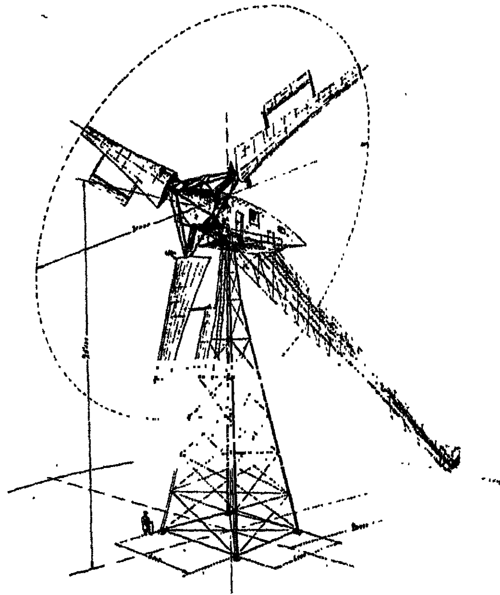


Abb. 11. Schnelläufer, 30 m Durchmesser, der für die experimentelle windelektrische Anlage in Krim im Bau ist.

stellungskosten der Maschinenanlagen; Zuverlässigkeit in der Arbeit und die Höhe der Betriebskosten; Probleme der Parallelarbeit. Zur Aufklärung dieser vorläufigen Fragen ist vom Institut gegenwärtig im Auftrage der Staatlichen Plan-Kommission der Union zu Versuchszwecken ein Windkraftaggregat von 140 PS entworfen und mit dem Bau einer windelektrischen, nach dem obigen Schema arbeitenden Versuchsanlage begonnen worden.

Im Hinblick darauf, daß die Halbinsel Krim ihren Windwirtschaftsverhältnissen nach günstige Voraussetzungen für die Ausnutzung des Windes zu Elektrifizierungszwecken bietet, wird die Anlage von uns bei Balaklawa (Krim) mit Anschluß an das vorhandene Stromnetz von 6300 V gebaut. Die Anlage soll einen rein experimentellen Charakter haben und im Laufe der Prüfungen allen erforderlichen Abänderungen

unterworfen werden, um den zweckmäßigsten Typus der Anlage und ihre Einrichtung herauszukristallisieren. Der jetzt in Bau befindliche, auf Abb. 11 wiedergegebene Windmotor für diese Anlage hat 3 stromlinig geformte selbsteinstellende Flügel mit dem ZAHI-Profil. Sie sind aus Holz und Metall konstruiert, je 11 m lang, mit der größten Breite von 2,3 m und bilden ein Windrad von 30 m Dmr. Die Schnelläufigkeit des Rades, d. h. das Verhältnis seiner Umfangsgeschwindigkeit zur rechnungsmäßigen Windgeschwindigkeit beträgt $z = 5$. Die ur-

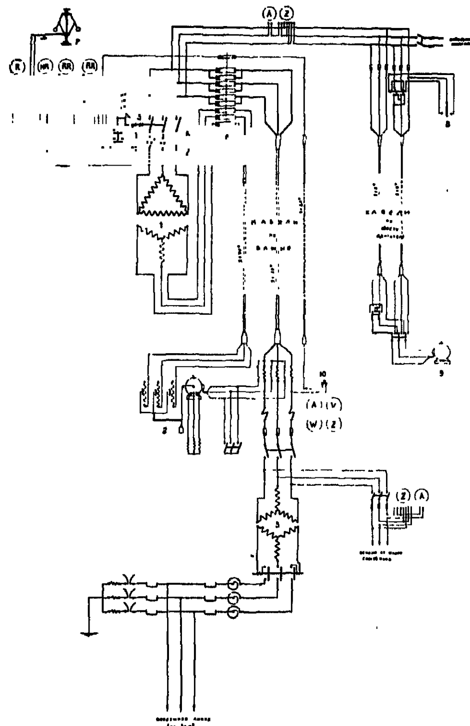


Abb. 12. Schaltungsschema der experimentellen Windkraftanlage in Krim.

sprünglich geplante höhere Schnelläufigkeit von $z = 6$ wurde entsprechend den experimentellen Untersuchungen des Laboratoriums verändert, denn es stellte sich heraus, daß der Wirkungsgrad des Rades sich in diesem Falle bedeutend verschlechtert. Die Drehzahl des Rades beträgt 19,2 U/min. Die Regulierung der Geschwindigkeit geschieht mittels der oben beschriebenen Steuerflossen mit zentrifugal wirkenden Gewichten in den Flügeln. Der Motor wird auf einem eisernen Fachwerkturm von 25 m Höhe und einer Basis von 6 m montiert. Der genietete Kopf des Motors stützt sich auf der Turmspitze auf Stoßlager und besitzt etwas tiefer ein Richtungslager. Der genietete Schweif beginnt am Motorkopf und endet auf dem Erdboden mit einem Wagen,

der bei den Drehungen des Kopfes auf einer Laufschiene von 40 m Dmr. um den Turm rollt. Auf dem Wagen wird ein Elektromotor aufgestellt, der den Kopf dreht. Der Aufstieg zum Generatorraum am Motorkopf geschieht auf einer Leiter längs des Schweifs des Windmotors. In dem Generatorraum befindet sich der Asynchrongenerator mit geneigter Welle und besonderem Stoßlager, der mit einem doppelten zylindrischen Zahnradgetriebe mit dem Zahnradring des Windrades verbunden ist. Dreiphasengenerator 600 syn. U/min, 50 Per/s, 220 V, 93 kW bei $\cos\varphi = 0{,}84$ mit Schleifringen. Die Spannung des Gene-

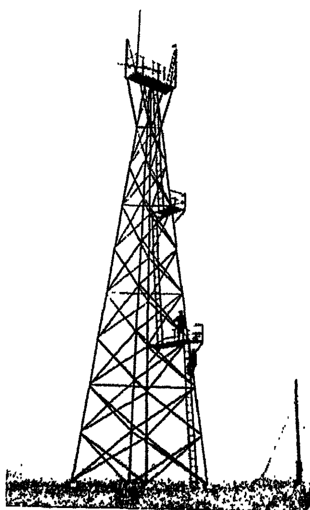


Abb. 13. 25 m hohe Maste für Windmessungen auf der experimentellen Windkraftanlage in Krim.

rators von 220 V, die für den Anschluß an das Stromnetz eine Steigerung der Spannung auf 6300 V und damit Nebenunkosten verursacht, ist nur deshalb gewählt worden, weil der Versuchscharakter der Anlage ein gefahrloses Arbeiten des Experimentators notwendig macht. Man entschied sich für die genannte Leistungsfähigkeit des Windmotors und den asynchronen Generatortypus, weil der Bau der Anlage dadurch beschleunigt wird; eine höhere Leistungsfähigkeit des Windmotors und auch die Anwendung eines synchronen Generators hätten längere experimentelle Untersuchungen notwendig gemacht (die in dieser Richtung sich bewegenden Arbeiten sind jetzt vom Institut eingeleitet). Vom Generator gehen die Leitungen durch die Selbstschalter und Meßtransformatoren zu den Bürsten des Stromringsammlers, der am Turm unbeweglich montiert ist. Vom Stromempfänger führen 2 armierte Kabel am Turm entlang und unter der Erde zum 15 m von der Lauf-

schiene entfernten Versuchsgebäude. In diesem ist die Transformatorenanlage 220/6300 V mit einem Dreiphasentransformator 100 kVA untergebracht. Die Ausrüstung und das Schema der Schaltungen (Abb. 12) der Anlage ermöglichen eine vollständig automatische Arbeit des Aggregats. Zu experimentellen Zwecken ist ferner eine ebenfalls automatische Regulierung der Stromabgabe des Generators mit Hilfe des im selben Gebäude untergebrachten Schlüpfungsregulators vorgesehen. Mittels eines Reihenschlußtransformators und eines kleinen Hilfsmotors schaltet der Regulator in den Stromkreis des Generatorrotors bei Stromsteigerungen im Stator von mehr als 5% über der Norm einen Wasserwiderstand ein.

Gegenwärtig sind das Gebäude der Anlage und das Fundament des Aggregats bereits fertiggestellt. Mittels eines am Bauplatz aufgestellten Wildeschen Anemographen werden die Windgeschwindigkeiten seit Oktober 1929 ständig registriert. Die Geschwindigkeiten werden auf einem 450 m vom Gebäude entfernten 25 m hohen eisernen Turm (Abb. 13) in einer Höhe gemessen, die dem Mittelpunkt des Windrades entsprechen wird. Auf diesem Turm werden auch die maximalen Windgeschwindigkeiten mit einem Sturmmesser, System Holzmann (Leningrad), festgestellt. Der Turm ist mit 10 Luftleitungen mit dem selbstschreibenden Registrierapparat im Gebäude der Anlage verbunden. Außer dem Beobachtungsraum mit den Schalttafeln und Meßinstrumenten enthält das Gebäude eine kleine Werkstätte und eine Wohnung für den Wächter. Die Beendigung der Bauten ist im Oktober 1930 vorgesehen.

Wenn die auf die Inbetriebsetzung der Anlage folgenden eingehenden Prüfungen ein positives Resultat ergeben, beabsichtigt das Institut, die für die praktische Verwirklichung derartiger Windaggregate erforderlichen Untersuchungen über die Verteilung der Windenergie in unmittelbarer Nähe des Aggregates und auf dem weiteren Gebiete der Kraftanlage vorzunehmen. Es ist zu berücksichtigen, daß die Leistung eines Aggregats infolge des ständig pulsierenden Windes einer fortwährenden, sich in weiten Grenzen bewegenden Schwankung ausgesetzt sein wird. Diese Schwankungen können bei höheren Leistungen sich sehr ungünstig auf das zu versorgende Netz auswirken und vielleicht sogar die Parallelarbeit der Windkraftanlage mit den anderen Kraftanlagen unmöglich machen. Es ist indessen anzunehmen, daß die Maximalgeschwindigkeiten des Windes und die durch sie hervorgerufenen Leistungsspitzen nicht übereinstimmen werden, wenn die einzelnen Aggregate durch eine gewisse, wenn auch nur geringe Entfernung getrennt sind, und daß die Leistungskurve aller Aggregate dann eine gleichmäßigere Form annehmen wird. Um diese recht schwierigen Probleme zu lösen, wird man genaue anemometrische Messungen der nächsten Umgebung des ersten Aggregats vornehmen und die Versuchsanlage um einige weitere Einheiten vergrößern müssen. Künftig wird auf die bei uns schon theoretisch behandelte Frage des Anschlusses windelektrischer Anlagen an Fernleitungen von hoher Spannung näher einzugehen sein; man darf hoffen, daß der Anteil der Windkraftanlagen an der Elektrifizierung des Landes dadurch außerordentlich steigen wird.

Die angedeuteten Perspektiven der weiteren Arbeiten auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie und das Bestreben, möglichst billige und brachliegende Energiequellen aufzufinden und zu verwerten, veranlaßt den Staat, angesichts der relativ armen Ressourcen an Wasserkraft, der von uns durchgeführten Arbeit in dieser Zeit der großen Aufbauarbeit ein beträchtliches Interesse entgegenzubringen. Dieses Interesse zeigt sich am deutlichsten in den von Jahr zu Jahr wachsenden Krediten, die vom Staat für diesen Zweck zur Verfügung gestellt werden. In den letzten 4 Jahren wuchsen die vom Staat für die Arbeiten des Institutes auf dem Gebiete der Ausnützung der Windkraft investierten Mittel folgendermaßen:

1926/27:	64000 R	1928/29:	172000 R
1927/28:	111000 „	1929/30:	350000 „

Es ist zu hoffen, daß in den nächsten Jahren durch die Aufnahme der fabrikmäßigen Herstellung von Maschinen unserer Konstruktion und die angesammelten großen Erfahrungen auf dem Gebiete der Arbeit der windelektrischen Anlage mit dem Drehstrom, die für die Verwertungsmöglichkeit der Windenergie von prinzipieller Bedeutung sind, das bisher unklare Problem der Ausnützung des Windes gelöst und die materiellen Aufwendungen sich rechtfertigen werden.

Summary

The efforts of the Central Aero Hydrodynamic Institute of Moscow have been concentrated on the investigation of wind energy, the investigation of wind wheels on a laboratory scale and on the construction of new types of windmills, including experimental sets. In addition, a network of wind measuring stations has been organized over the whole country, while the Institute has also put the former observations of meteorological stations on a systematic basis.

The Institute has developed an original high-speed type of wheel with self-regulating vanes for wind mills with wheels of up to 8 metres diameter, and is at present constructing a wind power station for 3-phase current, in which the diameter of the wind mill wheel is 30 metres. This wind mill is being constructed for the purpose of investigaring the possibilities of utilising the energy of the wind, where the set is connected in parallel with existing fuel burning stations and hydro-electric plants. A model of the set has already undergone preliminary laboratory tests.

Japan

Sunshine as a Heat-Source

Japanese National Committee

Prof. Dr. Matsujiro Oyama

Sunshine has already been utilized as a heat-source, directly or indirectly, for many purposes, such as evaporation, drying etc. For its positive utilization, it has been tried to heat water in a pipe placed at the focus of a parabolic mirror.

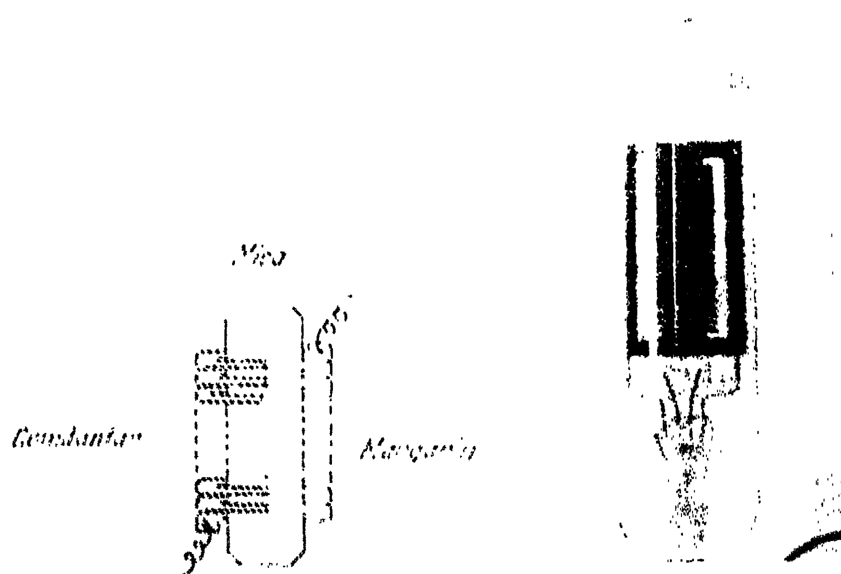
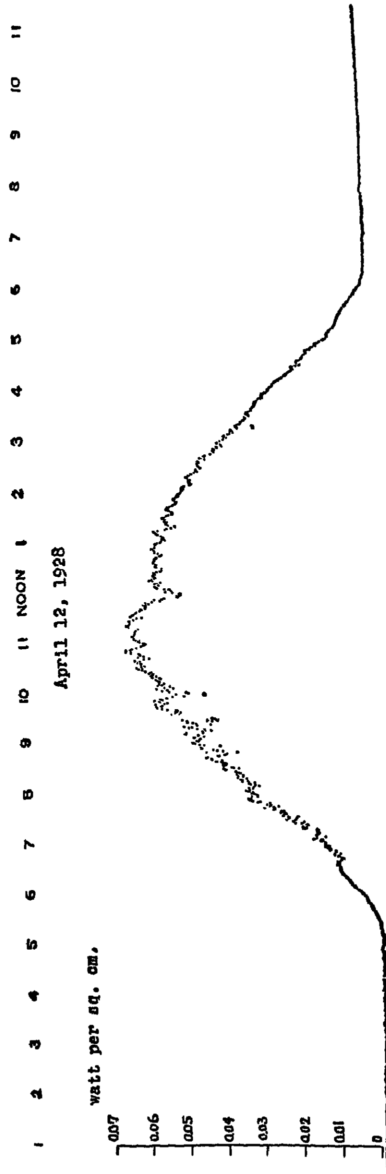


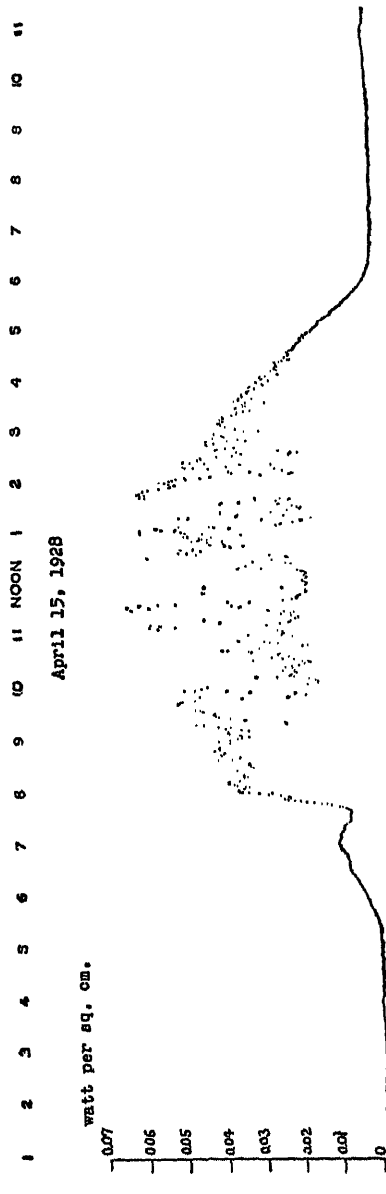
Fig. 1

To get good results in such applications, the exact knowledge of sunshine is of prime importance. Besides, if we know more details of it, the effect of sunshine, which has been utilized for many manufacturing processes, can be exactly reproduced by artificial means, quite independent of weather conditions.



April 12, 1928
watt per sq. cm.
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 NOON 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Fig. 2.



April 15, 1928
watt per sq. cm.
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 NOON 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Fig. 3.

From this point of view, we have tried to measure the diurnal and seasonal variations of sunshine. The instrument[1] especially devised by

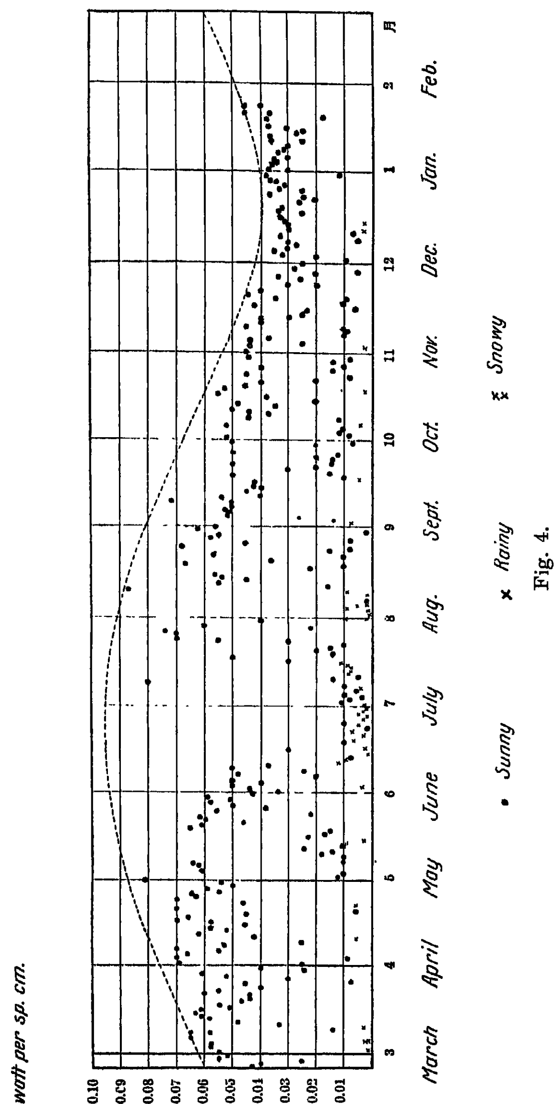


Fig. 4.

us for this purpose, consists of manganin-constantan thermocouples arranged symmetrically in an evacuated glass tube (Fig. 1).

[1] *M. Oyama*, J. I. E. E. of Japan, July 1928.

Our instrument is set horizontally, so that the radiation of sunshine received on a unit horizontal area is to be measured.

The sensibility is 213 mV/W/sq.cm., and the time-constant is 0.34 sec. It has no moving element, needs no battery and no more auxiliary apparatus than a millivoltmeter. For recording, a millivolt-recorder was used. Examples of records are given in Fig. 2 and 3. Fig. 3 shows an example recorded on a cloudy day. In Fig. 2 it is clearly indicated that about 0.07 W/sq.cm. of radiation reaches the earth surface (in Tokio) from the sun at noon.

Continuous measurement during the whole year from Feb. 1928 to Jan. 1929 was also carried out. The sunshine at noon is plotted in Fig. 4, in which the dotted curve indicates the value without cloud and smoke.

The apparatus proved to be always reliable for such a long period of use without any trouble.

Résumé

Dans beaucoup d'utilisations de la radiation solaire, il est utile de pouvoir mesurer son intensité.

A cet effet, nous avons construit un appareil qui se compose de thermocouples au manganin-constantan, disposés dans un tube à vide, auquel est connecté un millivoltmètre.

L'appareil, réalisé, a fonctionné pendant un an, sans donner lieu à des difficultés.

Generalbericht

Forschungsarbeiten

Prof. Dr.-Ing. Föttinger

Die Berichte betreffen folgende 5 Forschungsgebiete:

a. Brennstoff und Brennstoffverbrauch

Bericht Nr. 357: Études expérimentales sur les sables imprégnés (France)
M. Louis

In Pechelbronn (Elsaß) bleiben nach der Entleerung durch Sonden noch 70—75% des ursprünglichen Rohöls im quarzigen Sandboden. Die Studie ermittelt die Sättigungsgrade dieser Sande für eventuelle spätere Nutznießung des Restöls. Der Sand wurde im Meßgefäß von unten mit Wasser oder Pechelbronner halbflüssigem Öl durchtränkt. Gesamt- und flüssiges Volumen sowie deren Gewicht wurden gemessen. Das nach dem Abtropfen zurückgehaltene Volumen ist bei jeder Körnung größer für Öl als für Wasser und in den Unterschichten gesetzmäßig größer als oben. Die Sättigung ist um so größer, je kleiner die Körner.

Bericht Nr. 124: Drei Jahre Associazione Nazionale per il controllo della combustione in Italien (Italien)
Ing. V. Grazioli

1926 sind in Italien die bis dahin getrennt arbeitenden Kesselrevisionsvereine zur „Nationalen Vereinigung für Verbrennungskontrolle" gesetzlich zusammengeschlossen worden, mit der zweifachen Aufgabe der Überwachung der Sicherheit aller Druckgefäße und der geregelten Überwachung der bestdenkbaren Ausnutzung aller Brennstoffe. Nach Aufstellung fester Normen studiert und erforscht die Vereinigung in großzügiger Weise das Problem der ökonomischsten Verwertung, aber auch Gewinnung und Veredelung der eingeführten und spärlich vorhandenen, vielfach minderwertigen und bisher unrentablen italienischen Brennstoffe, z. B. Astholzkohlen, Schieferöl, Schweröl aus Ragusa, Rohöl aus Braunkohlen und aus sardinischen Kohlen. Ökonomische Verwertung wird gefördert durch Heizerschulen, Sammelwerke, eine Zeitschrift, Sonderberichte, Abnahmenormen, Kontrolle der Industrieöfen, Wettbewerbe, insbesondere auch für Kraftwagen mit italienischen Brennstoffen, die in Generatoren vergast oder flüssig zugeführt werden. Die

Zwangskontrolle hat sich durch viele wirtschaftliche Erfolge bereits populär gemacht.

Bericht Nr. 145: Fuel Investigations and Research in Canada (Canada)
B. F. Haanel

Es wird über den großen, unerschlossenen Reichtum Kanadas an Steinkohlen, Braunkohlen, Torf, Teersanden, Ölschiefern, Rohöl und Erdgas berichtet. Die Abgelegenheit derselben und die geringe Bevölkerungsdichte bedingt aber, daß die Abbau- und Veredelungsverfahren dichtbevölkerter Industrieländer in Kanada oft absolut unrentabel sind. Da außerdem viel Kohle und Öl aus U.S.A. eingeführt wird, so dient die Forschung hauptsächlich der Erschließung und Anwendung besonderer Verfahren für heimische Brennstoffe, weniger rein wissenschaftlichen Zwecken. Die Zusammenarbeit der Bergbehörden mit dem wirtschaftlich orientierten Fuel Board und der McGill-, Alberta- und Halifax-Universität hat schöne Erfolge gezeitigt bezüglich Tieftemperatur-Verkokung, Teersandverwertung für Straßenbau und Ölgewinnung, letztere auch aus Ölschiefer, Verwertung des Naturgases usw.

b. Wärme und Wärmeübertragung

Bericht Nr. 79: The Properties of Steam at High Pressure and Temperature (Great Britain)
G. S. Callendar

Unter Anwendung und Fortbildung der seit 40 Jahren von ihm geschaffenen Meßmethoden, Apparate und Formeln hat der leider kürzlich verstorbene Professor *Callendar* in den letzten Jahren zusammen mit seinem Sohne großzügige, von der englischen Elektrizitätsindustrie unterstützte Versuche durchgeführt, betreffend die Wärmeinhalte und spezifischen Wärmen des Höchstdruckdampfes bis zu 280 at.

Der vorliegende Bericht behandelt die benutzten Methoden und Apparate. Die genaueste Methode ergibt unmittelbar den Wärmeinhalt eines stetigen Dampfstromes durch Drosselung auf Atmosphärendruck und Kondensation. Besonders ausführlich wurde das kritische Gebiet untersucht, als scharfer Wertmesser für einschlägige Theorien. Geringe Verunreinigungen durch Luft oder Staub erniedrigen den Sättigungsdruck, zumal im kritischen Gebiet.

Eine Versammlung ausländischer Fachleute in London hat 1929 eine Tafel für zukünftige internationale Standardwerte vorbereitet.

Bericht Nr. 243: Researches on Heat Transmission and Insulation (U.S.A.)
W. V. A. Kemp, Professoren W. H. McAdams und H. C. Hottel und R. H. Heilman

Die Komitees des *National Research Council* bearbeiten: Normung, Verbreitung der Ergebnisse, Isolierstoff-Forschung einschließlich Kompendien hierüber und unterstützen die Forschungsgemeinschaften der *Harvard-* und *Cornell-Universität*, des *Massachusetts-* und des *Worcester-Institutes.*

Die Einzelberichte geben eine sehr brauchbare Übersicht des gegenwärtigen Forschungsstandes mit zahlreichen Literaturangaben und vielseitiger praktischer Anwendbarkeit.

1. *„Wärmeübergang zwischen Fluidis und festen Körpern, Leitung und Konvektion"* von W. H. McAdams.

Nach Besprechung der Theorie der laminaren Wandschicht („Film") und der Übergangszahlen auf Grund der *Reynolds*schen und der *Nusselt*schen Ähnlichkeitsmethode wird auf neuere amerikanische Untersuchungen betr. Vermeidung der zahlreichen Fehlerquellen eingegangen, z. B. falsche Mitteltemperatur der Laminarströmung, Zwischenbilanzen durch Benutzung von Sattdampf und Kondensatmessung, Oberflächenreinheit, Reproduzierbarkeit, Kontrolle der Druckabfälle. Zuletzt folgen Standardsymbole und -bezeichnungen.

2. *„Wärmeübergang durch Strahlung"* von H. C. Hottel.

Auf Grund der Gesetze von *Stefan-Boltzmann* und *Kirchhoff* und des *Lambert*schen Kosinusprinzips wird an Hand der Analogie mit Problemen der Photometrie und Beleuchtung eine Reihe praktischer Strahlungsfälle von *festen Körpern* zahlenmäßig erörtert. Prof. *Bidwell* studiert experimentell die Abweichungen vom Kosinusgesetz. Nach Aufzählung ungelöster Fragen (Strahlung in körnigen Massen usw.) wird die wichtige Strahlung *glühender Staubwolken* (Kohlenstaub- und Leuchtflammen) und ihre Steigerung durch „Crack"-Vorgänge in den Flammen besprochen. Zuletzt wird auf die Probleme der *Strahlung klarer Gase* eingegangen: Einfluß des Wasserdampfes, des Temperaturgefälles im Gas, der Metalldämpfe usw.

3. *„Wärmeübergang durch Isoliermittel"* von R. H. Heilman.

Verfasser erörtert die Bedeutung der reinen Wärme*leitung*, auch in den Lufträumen feinporiger Isolierungen. Bei kleinen Lufträumen ist die Strahlung verschwindend, bei großen aber von Bedeutung, insbesondere für hohe Temperatur. Grenzen werden angegeben. Die Konvektion ist dagegen immer gleich Null. Die Ersparnis durch metallische Farbanstriche, insbesondere bei rauhen Armaturen, wird an Hand einfacher Diagramme nachgewiesen.

Bericht Nr. 306: Apparatus for Determining Thermal Conductivities and Specific Heats of Structural and Insulating Materials (Russia)
Ing. D. L. Timroth

Ein erster Apparat, für Plattenproben mit *Parallelströmung*, arbeitet ohne oberen Schutzring. Die Genauigkeit soll nicht beeinträchtigt sein. Darauf wird die exakte Theorie eines *neuen Apparates* gegeben, dessen zylindrische Form strenge Verwirklichung der Grenzbedingungen gestattet: flache, ringförmige Heizspirale, darüber die Meßplatte von der Dicke 0,1 R bis R, Durchmesser 120 mm, darunter eine ebenso große

Carbolit- (Standard-) Platte, das Ganze eng eingeschlossen vom Kühler mit doppeltspiraligen Wasserkanälen, Luftspalte mit Korosin gefüllt. Die tabellierte Lösung erfolgte durch Reihen Besselscher Funktionen. Die Wärmeleitzahl kann auch nach der *nichtstationären* Methode unter Benutzung der *Anfangsströmung* bestimmt werden. Versuche haben die Theorie bestätigt.

Bericht Nr. 298: Die Erforschung der Gasbewegung in Heizapparaten nach Modellen (Rußland)
Prof. M. W. Kirpitscheff

Die Strömungen, z. B. das Abfließen heißer Gase über eine Schwelle, sind in *Physikalisch-Technischen Staatslaboratorium,* an Wassermodellen nach der Methode von *Dworjak* mit Hilfe gefärbter Stromfäden untersucht worden. Genaue physikalische Ähnlichkeit für Strömung und Wärmeübergang ist wegen der verschiedenen Medien und Größenverhältnisse meistens nicht möglich, für Erkennung vieler Hauptvorgänge aber auch nicht notwendig. Stetige Geschwindigkeitsverteilung und Querschnittserfüllung (Theorie der Prof. *Grum-Grjimailo* und *Esmann*) kommt nur bei kleinen *Reynolds*-Kennzahlen vor. Jenseits der kritischen Zahl tritt turbulente Mischung ein. U. a. sind Strömungen in Economisern untersucht, in natura bestätigt und durch Einbau von Schaufelgittern verbessert worden. Die Methode zeigt außer dem Verlauf der Strömungen auch Wege zur Verbesserung.

c. *Benzinmotoren*

Bericht Nr. 264: Scientific Research in the United States on Gasoline Engines (U.S.A.)
H. C. Dickinson

Der Bericht gibt eine gedrängte Übersicht der neueren wissenschaftlichen Forschungen amerikanischer Speziallaboratorien und Universitäten der Armee und Marine und des Nationalen Luftbeirates über die Probleme des *Benzinmotors,* die durch den Wunsch nach Steigerung der Zylinderleistung, der Wirtschaftlichkeit und Geräuschlosigkeit, also der Drehzahl, des Mitteldrucks, der Klopffestigkeit, der Zwangläufigkeit der Zündung und Verbrennung usw. entstanden sind.

Ausführlich wurden die Schwingungen der Ventilfedern theoretisch und mit dem Oszillographen untersucht und durch veränderliche Steigung und geeignete Nockenform beseitigt. Die Überdeckung der Ventilöffnungszeiten, die Verwendung höher temperierter Medien bis 150° C zur Kühlung, der Vergleich von Wasser- und Luftkühlung, die günstigste Gestaltung der Kühlrippen, der Einfluß der gegenseitigen Lage von Vergaser und Verteilstutzen an den Zylindern auf die Anfahrschnelligkeit, endlich der Einfluß der Zündungsart auf die Ausbreitung der Zündung sind eingehend studiert worden.

Im Höhenlaboratorium und der Höhenkammer des *Bureau of Standards* wurden die Probleme des Druckes, der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft an Motoren mit und ohne Kompressor bis 9500 m untersucht.

Endlich hat Prof. *Stevens* ebendort eingehende Versuche über die Zündgeschwindigkeiten und die Ausbreitung der Impuls- und Schallwellen bei konstanten und bei steigenden Drücken angestellt.

d. *Wassermessung und Gewässerkunde*[1]

Bericht Nr. 155: Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflußmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen (Norwegen)
Ing. *J. Aastad* und Ing. *R. Sögnen*

Bei dieser „*relativen Verdünnungsmethode*" wird dem Wasser ein bekanntes Volumen einer beliebigen Salzlösung in beliebiger Zeit gleich- oder ungleichmäßig zugemischt. An geeigneter Stelle stromabwärts wird dann der „*Verdünnungsgrad*" (das relative Volumverhältnis von Lösung und Stromwasser) als Funktion der Zeit (Diagramm-Methode) oder als Mittelwert einer in bestimmter Zeit aufgesammelten Probemenge (Sammelmethode) mit einer Wechselstrombrücke gemessen. Hierzu muß die Leitfähigkeit als Funktion der relativen Verdünnung durch Sonderversuch in Form einer „Normalkurve" ermittelt sein. Die Salzlösung muß an der Meßstelle, d. h. an den Elektroden, gleichmäßig verteilt sein. Die Methode ist seit 1927 mit gutem Erfolg, auch bei Turbinenversuchen, bis zu Durchflüssen von 30 m^3/sec verwendet worden.

Bericht Nr. 216: Contribution à l'étude de l'écoulement en déversoirs (Suisse)
Dr. Maurice Golaz

An Stelle des bedingt gültigen „Prinzips der maximalen Wassermenge" von *Bélanger* (1857) wird das allgemeinere „*Prinzip der maximalen Kraftleistung*" vorgeschlagen: „Produkt aus Wassermenge mal Schwerpunktstiefe des vertikalen Strahlquerschnitts = Maximum", dem jeder stabile Wasserstrom genügen muß. Seine praktische Anwendung stößt analytisch auf unüberwindliche Schwierigkeiten, dagegen konnte die Gültigkeit an zwei Beispielen für die Berechnung der Strahlform und Geschwindigkeitsverteilung nachgewiesen werden:

1. *am Überfall mit kreisgerundeter Krone.*

Ein plausibler Ansatz für die Krümmungsradien der Stromfäden wird mit einem Ansatz der Potentialtheorie kombiniert und der Differenzenrechnung unterworfen. Die Ergebnisse stimmen ausgezeichnet mit Modellversuchen überein.

2. *am Überfall mit fest horizontalen Stromfäden,* wo singulär auch das Prinzip von *Bélanger* gilt.

Interessant wäre die Feststellung, ob der neue Weg dem allgemeinen Prinzip der Potentialströmung an Einfachheit überlegen ist.

[1] Auf dem internationalen Kongreß für Technische Mechanik in Stockholm 1930 wird über das eigenartige Phänomen der „Überturbulenz" oder [illegible]" berichtet werden, das vom Berichterstatter seit 1910 in den Kanälen der [illegible] Kupplungs-Transformatoren) festgestellt worden ist. Infolge der Relativwir[illegible] die Reibungsziffern der rotierenden Kanäle auf ein Vielfaches des ruhenden Kanals anst[illegible]. [illegible] ist von *H. Seelig* im Institut des Berichterstatters ein 80- bis 100-facher [illegible] „*gezüchtet*" worden.

Bericht Nr. 2: Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy (Schweiz)
Dr.-Ing. A. Strickler

Auf der Baseler Weltkrafttagung 1926 waren die Nationalen Komitees um Vorschläge für universelle Bestimmungsmethoden der Rauhigkeitskonstanten in den Formeln nach *Chézy* zur Geschwindigkeitsbestimmung aus dem hydraulischen Radius und dem Gefälle $v = c \sqrt{RJ}$ ersucht worden. Die nur von Polen und der Schweiz eingegangenen neuen Vorschläge sind zusammen mit den früheren Baseler Vorschlägen durch Dr. *Strickler* von der Schweizer Strombauverwaltung zum vorliegenden Bericht verarbeitet worden. Derselbe gibt die Anregungen des Schwedischen, Schweizer, Polnischen und Englischen Komitees, sowie eine Aufzählung und eine Kritik der hauptsächlichsten Formeln für Flüsse, Kanäle und Rohre an Hand moderner Versuchsdaten. Der Berichterstatter empfiehlt eine universale dreigliedrige Formel verhältnismäßig einfacher Bauart, welche andere Formeln, wie die von *Gauckler*, als Sonderfälle enthält, und gibt die zugehörigen Rauhigkeitsbeiwerte. Die Darstellung ist leider noch nicht dimensionslos.

Bericht Nr. 181: Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne mit starken Neigungen (Schußtennen) und Berechnung der Selbstbelüftung des Wassers (Österreich)
Ing. R. Ehrenberger

Statt der teuren Kaskadenüberfälle werden neuerdings glatte Steilgerinne, sog. Schußtennen, an den Wasserschlössern von hydroelektrischen Anlagen verwendet. Infolge der vermehrten Reibung durch Lufteinmischung gelten die bisherigen Widerstandsformeln nur unterhalb Neigungen von 1—1,5%.

In einer Holzrinne von 0,25 m Sohlenbreite und Neigungen bis $\sin \alpha = 0{,}7$ wurde die Geschwindigkeitsverteilung und der Belüftungsgrad durch Pitot- und Leuchtschwimmermessungen ermittelt. Die neuen Formeln ergeben diese Größen als Funktion des hydraulischen Radius und des $\sin \alpha$; die Werte stimmen gut mit Naturbeobachtungen an Schlußtennen überein. Die Selbstbelüftung beginnt bei $V =$ rd. 4,0 m/sec.

Bericht Nr. 1: Vorschläge für die Bestimmung der Feststofführung der Gewässer (Österreich)
Österr. Nationalkomitee

In diesem Bericht werden auf Ersuchen des Londoner Büros der Weltkraftkonferenz internationale Richtlinien für die laufende Bestimmung der *Schwebestoff-* und der *Geschiebeführung* der Bäche, Flüsse und Ströme empfohlen, als Ergänzung zu den Abflußmessungen durch Pegelbeobachtung. Es werden Normen für die Entnahme- und Abscheideverfahren (Verdampfen oder Filtrieren), für Auswertung und Statistik und für die Geschiebeentnahme und Aussiebung im Zusammenhange mit Peilungen und Wassermessungen vorgeschlagen.

e. *Windenergie* [2]

Bericht Nr. 307: Die Arbeiten des ZAHI auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie in der U.d.S.S.R. (Rußland) Ing. W. R. Sektorow

Die Untersuchungen des *Zentralen Aero-Hydrodynamischen Instituts* in Moskau betreffen die Größe und geographische Verteilung der Windenergie, die wirtschaftlichen und Betriebseigenschaften vorhandener Windräder samt Dynamo, die Konstruktion neuer Typen, und die laufende Windmessung durch 1387 meteorologische Stationen im europäischen Landesteil. Für kleine Durchmesser sind Langsamläufer, für über 8 m sind 3—6flüglige Schnelläufer mit automatisch drehbaren Propellerprofilen entwickelt und teils im Windtunnel, teils auf dem Versuchsturm des Instituts erprobt worden. Asynchrone Drehstromgeneratoren sollen die jeweilige Energie einem vorhandenen Drehstromnetz zuführen. Eine Versuchsanlage dieser Art mit 30 *m* Raddurchmesser und 140 PS für die Krim ist im Bau. Sie soll später mit einem ganzen System derartiger Generatoren auf das Überlandnetz arbeiten.

Entwicklungslinien

Bei aller Verschiedenheit der Forschungsgebiete erkennen wir gemeinsame Tendenzen. Der starke Wettbewerb der Nationen, z. B. das nach dem italienischen Bericht (*Grazioli*) *gesetzlich* vorgeschriebene Streben nach höchster Ausnutzung der Energieträger, die erwachende Rücksichtnahme auf Schonung eigener Rohstoffquellen, die Steigerung aller Geschwindigkeiten, das Bedürfnis nach Einschränkung aller Störungen und Belästigungen führen in wachsendem Maße zur *Heranziehung immer höherer wissenschaftlicher Hilfsmittel und Methoden* für die technische Forschung. Staat und Industrie erkennen, daß es ökonomischen Sinn hat, teure und schwierige Versuche nicht schon beim ersten, verwertbaren Resultat abzubrechen und bei der nächsten Fragestellung mit bedeutender Anlaufarbeit wieder aufzubauen. An die Stelle sporadischen „Probierens" tritt mehr und mehr die weitblickende *organisierte Forschungsarbeit*, gewissermaßen als Kern und Rückgrat *aller* menschlichen Rationalisierungs- und Verbesserungsbestrebungen.

Dieses wissenschaftliche Arbeitsprinzip ist von fortschrittlichen und universell eingestellten Ingenieuren seit Jahrzehnten geübt worden: Die chemische, die optische und die Elektrizitätsindustrie verdanken ihm ihre Sonderstellung auch in bezug auf Rentabilität. Seit dem Kriege hat diese Erkenntnis sich aber auch auf anderen Gebieten durchgesetzt, wofür die Dampfforschungen *Callendars* oder die amerikanischen Forschungen über Benzinmotoren und Wärmeübergang Zeugnis ablegen. Immer mehr nähern sich technische und physikalische Methoden, und in steigendem Maße wird die Anregung fruchtbar, die aus der Betrachtung selbst fernerer Grenzgebiete erwächst. Die innere *Klarheit und Reinheit technischen Gestaltens und Strebens* wird anderen menschlichen

[2] [illegible] -Ing. *H. Thoma* über „Hydraulische Dämpfung der [illegible] chungen der betreffenden Hohlseile, erschien in d[illegible]

Betätigungsgebieten, wie dem rein wirtschaftlichen und
mehr und mehr als Vorbild dienen können.

Im einzelnen ist noch engere Fühlungnahme der Forsch
(Elektrodynamik und Hydrodynamik, Bau- und Maschinen
wesen, Wärme- und Strömungsforschung usw.) im Interesse
gleichung und Rationalisierung der Forschung selbst
Reicher Gewinn, auch ideeller Art, würde eine streng *sachlich*
internationale Forschungsarbeit belohnen. Hierfür würden
beschadet des Nutzens eines gesunden Wettbewerbs auf rein
Gebiet, die mehr in Richtung der Wissenschaft liegenden,
und tieferen Fragenkomplexe eignen.

Diskussionsvorschläge

1. Bestrebungen zur Ausnutzung des restlichen Gehaltes
   Sande.
2. Wärmeübergang durch Strahlung technisch wichtiger,
   gasförmiger Körper.
3. Verpuffungs- und Explosionsvorgänge in Verbrennungs
4. Kritik der Wassermeßmethoden mit Beimischung von Salz
5. Die Vorzüge der dimensionslosen Darstellung hydrauli
   thermischer Durchflußkoeffizienten.
6. Die Frage der Wirtschaftlichkeit größerer Windkraftan

General Report

Research Work.

Prof. Dr.-Ing. Föttinger

The papers cover the following 5 fields of research.

a. Fuel and Fuel-Utilisation

Paper No. 357: Etudes expérimentales sur les sables imprégnés (France)
M. Louis

In Pechelbronn (Elsass) 70 to 75% of the original oil remains in the quartz sand, after the extraction of the oil by tapping. This study determines the degree of saturation of these sands for later use of the remaining oil. The sand was soaked from below in a measuring apparatus with water or semifluid Pechelbronn oil. The total and liquid volumes were determined as well as their weights. The volume retained after draining, is with each graining larger for oil than for water; and in the lower layers proportionately larger than in the upper ones. The degree of saturation is greater the smaller the grains.

Paper No. 124: Drei Jahre Associazione Nazionale per il controllo della combustione in Italien (Italien)
Ing. V. Grazioli

In 1926 the former separately working boiler supervision societies were united by law into the "National Union for the Control of Combustion" with the dual purpose of supervising all receptacles for pressure, and the regular control of the best possible utilisation of fuels. After establishing fixed standards, the society studies and investigates on a large scale the problem of the economic utilisation as well as the production and refining of the imported and meagre supplies of often inferior and up to the present uneconomic Italian fuels, such as charcoal, shalcoil, the heavy oils of Ragusa, raw oil from brown-coal and Sardinian coal. Economic utilisation is stimulated by schools for stokers, reference works, a periodical, special reports, standards, control of industry furnaces, competitions, especially also for motor cars using Italian fuels, that are either gasified in generators or supplied in liquid form. The compulsory supervision has already made itself very popular, through its economic successes.

Paper No. 145: Fuel Investigations and Research in Canada (Canada)
B. F. Haanel

A report is given on the immense untouched wealth of Canada in coal, lignite, peat, oil-shales, crude-oil and natural gas. The inaccess-

ibility of these as well as the sparse population, are the cause that the mining and refining methods of densely populated industrial countries are often absolutely uneconomical in Canada. Owing to the fact that great quantities of coal and oil are imported from the U. S. A., the chief aim of the investigations is the preparation and the application of special methods of treatment for local fuels. The joint work of the Department of Mines with the economically versed Fuel Board and the McGill, Alberta, and Halifax Universities has shown great progress in low-temperature carbonisation, utilisation of tar sands for road construction and the preparation of oil, the latter also from oil-shales, and in utilisation of natural gases.

b. *Heat and Heat Transmission*

Paper No. 79: The Properties of Steam at High Pressure and Temperature (Great Britain)
G. S. Callendar

By using and extending the measuring methods, apparatuses and formulae created by him during the last forty years, the lately deceased *Professor Callendar* together with his son, supported by the English electric industry, has carried out extensive experiments, in connection with the heat content and specific heats of steam at high pressures up to 280 at.

The paper deals with methods and apparatuses used. The most accurate method gives straight away the heat content of a continuous steam current, by throttling to atmospheric pressure and condensation. The critical limits were thoroughly investigated, especially as a criterion for special theories. Slight pollution through air or dust reduces the pressure of saturation especially within the critical limits.

A meeting of foreign specialists in London in 1929 has drawn up a table for future international standard values.

Paper No. 243: Researches on Heat Transmission and Insulation (U. S. A.)
W. V. A. Kemp, Professors W. H. McAdams and H. C. Hottel and R. H. Heilman

The committees of the *National Research Council* are preparing the standardisation, the dissemination of the results, insulation research, including comprehensive texts thereon, and support the Research Fellowships of the *Harvard* and *Cornell Universities* and the *Massachusetts* and *Worcester Institutes*.

The individual papers give a very useful review of the present state of the research work, together with extensive bibliography and a wide practical application.

1. Heat Transmission between Fluids and Solids, Conduction and Convection by W. H. McAdams.

After discussing the theory of films and conversion factors based on the *Reynold's* and *Nusselt's* principles of similarity, new American research work for avoiding the numerous sources of errors are treated;

the wrong mean temperature of the film flow, intermediate checking by using saturated steam and condensation figures, surface purity, the possibility of reproduction, control of pressure drops. In conclusion standard symbols and nomenclature are given.

2. Radiant Heat Transmission by H. C. Hottel.

Based on the laws of *Stefan-Boltzmann* and *Kirchoff*, and *Lambert's* cosine principle, and taking into consideration the analogy to photometry and illumination, a series of practical examples of radiation of *solids* are illustrated by figures. Prof. *Bidwell* is studying experimentally the deviation from the cosine law. After mentioning some unsolved problems (radiation in granular material) the important radiation from *glowing clouds of particles* (coal-dust and luminous flames) and the intensifying by crack processes in flames, is discussed. In conclusion the problem of *radiation from clear gases* is treated: the influence of water-vapor, the temperature gradient in the gas, metallic vapors etc.

3. Transmission of Heat through Insulation by R. H. Heilman.

The author points out the importance of the true heat *conduction* especially in the air spaces of porous insulating material. In the case of small pore spaces the radiation is negligible, but with large spaces of importance, especially for high temperatures. The limits are given. Convection is always zero. The saving through the use of metallic paints especially for rough pipes is shown by diagrams.

Paper No. 306: Apparatus for Determining Thermal Conductivities and Specific Heats of Structural and Insulating Materials (Russia)
Ing. D. L. Timroth

The preliminary apparatus for flat plates with *parallel flow* works without an upper guard ring. The degree of accuracy is not impaired. After that the exact theory for the *new apparatus* is given, the cylindrical form of which permits the realisation of the boundary conditions: flat ringshaped heating spiral, over that the measuring plate with a thickness of 0.1 R to R, Dia. 120 mm, under that a carbolit (standard) plate, the whole lightly enclosed in a cooler with double spiral water channels, the air space is filled with kerosene. The tabulated result was made by means of series of Bessel functions. The heat conductivity index can also be determined by the *nonstationary* method in using the *initial flow*. Experiments have verified the theory.

Paper No. 298: Die Erforschung der Gasbewegung in Heizapparaten nach Modellen (Rußland)
Prof. M. W. Kirpitscheff

The flow, such as the flow of hot gases over a sill, has been examined in the *Physical-Technical State Laboratory* in water models by the method of *Dworjak* with coloured stream threads. Exact physical similarity for flow and transfer of heat is in most cases impossible, due to the different mediums and proportions, but neither necessary for the recognition of many of the main actions. Constant distribution of velocity, and the filling of the whole cross section (Theory of Professors

Grum-Grjimailo and *Esmann*) only occurs with small *Reynold's* factors. Beyond the critical figure turbulent mixing takes place. Amongst others the flow in economisers has been studied and found to be that which really takes place, and has been improved by vanes. Besides showing the action of the flow the method also gives suggestions for improvement.

c. Gasoline Engines

Paper No. 264: Scientific Research in the United States on Gasoline Engines (U. S. A.)
H. C. Dickinson

The paper which unfortunatly was received somewhat late, gives a condensed review of the latest scientific researches executed by the special laboratories and universities of America, the Army and Navy, and the National Air Advisory Board, in connection with the gasoline engines. Fostered by the tendency to increase the cylinder output, efficiency and silence, likewise the speed, the mean pressure, the force of the knock, the automatic ignition and combustion etc.

The vibration of the valve springs was investigated theoretically by means of the oscillograph, and was eliminated by varying the lift and through suitable cam shapes. The overlapping of the opening periods of the valves, the use of high temperature cooling mediums up to 150° C, the comparison between water and air cooling, the most suitable shape of the cooling ribs, the influence of the respective position of the carburetter and distribution pipe on the cylinders on the speed of starting, and lastly the influence of the ignition system on the spread of ignition, have been thoroughly investigated.

In the altitude laboratory and the altitude room of the *Bureau of Standards*, the problems of pressure, temperature and humidity of the air were investigated on engines with and without a compressor up to 9500 meters. To conclude Prof. *Stevens* also conducted experiments there, concerning the speeds of ignition and the dispersion of the impulse and sound waves under constant and rising pressures.

d. Water Gauging and Hydraulics[1]

Paper No. 155: Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflußmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen (Norwegen)
Ing. J. Aastad and Ing. R. Sögnen

In this "*relative dilution method*" a known volume of salt solution of arbitrary strength is mixed regularly or irregularly during any period. At a suitable spot down stream the *degree of dilution* (the volumetric ratio of solution and stream water) is measured by means of a Wheatstone bridge, as a function of the time (diagram method) or as a mean of the samples collected during a given time (collective method). For

[1] At th[illegible] gress of Techn. Mechanics in Stockholm 1930, a report will be given over the [illegible] of "over turbulence" or "rotary turbulence" which the author found as early [illegible] uplings (coupling transformers). Due to the relative motion the coefficients of friction of the rotating channel are magnified to a multiple of those in a stationary channel. In the institute of the author, *H. Seelig*, produced an increase of friction of 80—100 fold.

this method the conductivity must be determined experimentally, as a function of the relative dilution, in the form of a "normal graph". The salt solution must be evenly distributed at the measuring piont i. e. at the electrodes. The method has been successfully employed since 1927, also in experiments on waterturbines with flows up to 30 cub. m/sec.

Paper No. 216: Contribution à l'étude de l'écoulement en déversoirs (Suisse)
Dr. M. Golaz

Instead of the conditionally correct "Principle of maximum water volume" of *Bélanger* (1857) the more general "*Principle of maximum energy*" is suggested: "the product of the water volume and the depth of the centre of gravity of the verticle cross-section of the stream-maximum", which must be satisfied by every stable stream. The practical application meets analytically with insurmountable difficulties, its validity however was demonstrated by two examples for the calculation of the form of the stream and the distribution of the velocity:

1. the flow over weirs with circular crest.

A plausible solution for the radii of the streamlines is combined with an application of the Potential theory and is submitted to differential calculus. The results coincide with the experiments in models.

2. the flow over weirs with fixed horizontal streamlines where also the principle of Belanger is correct.

It would be of interest to determine if the new method exceeds the general principle of potential flow in simplicity.

Paper No. 2b: Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy (Schweiz)
Dr.-Ing. A. Strickler

At the session of the World Power Conference held in Basle in 1926, the National Committees were invited to submit proposals for general methods for determining the roughness coefficients in the formulae of *Chézy* for calculating the velocity by means of the hydraulic radius and the head: $v = c\sqrt{RJ}$. The new suggestions which were only put forward by Poland and Switzerland have been combined in this paper by Dr. *Strickler* of the Swiss Stream Authorities. He gives the suggestions made by the Swedish, Swiss, Polish and English Committees, and, by means of the modern experimental data, a summary and criticism of the more important formulae for rivers, channels and pipes. The reporter recommends the use of a universal triple factor formula of comparatively simple structure, which contains the other formulae, such as that of *Gauckler*, as special cases, and also gives the corresponding co-efficients of roughness. The presentation is unfortunately not yet dimensionless.

Paper No. 181: Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne mit starken Neigungen (Schußtennen) und Berechnung der Selbstbelüftung des Wassers (Österreich)
Ing. R. Ehrenberger

Of late steeply inclined conduits (socalled Schußtennen) are used at surge tanks of the hydro-electric plants, instead of the expensive cascade spillways. Due to the increased friction caused by the mixing with air, the friction formulae are only applicable to gradients below 1 to 1.5%.

In a wooden channel with a width of 0.25 m and an inclination of sine $\alpha = 0.7$, the distribution of velocity and the aeration were determined by pitot and luminous float measurements. The new formulae give these factors as a function of the hydraulic radius and the sine α: the values show a fair agreement with the practical observations at steeply inclined conduits. Automatic aeration commences appr. at $V = 4.0$ m/sec.

Paper No. 1: Vorschläge für die Bestimmung der Froststoffführung der Gewässer (Österreich)
Österreichisches Nationalkomitee

On request of the London Office of the World Power Conference international methods for continuous investigation of the suspended matter and silt in brooks, rivers and streams, as a supplement to depth measurements, are given in this paper. Standards are suggested for the methods of sampling and separation (evaporation or filtering), as well as the evaluation and statistic, also for the sampling of silt and sieving, in connection with depth and volume measurements of water.

e. *Wind Energy*[2]

Paper No. 307: Die Arbeiten des ZAHI auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie in der U. d. S. S. R. (Rußland)
Ing. W. R. Sektorow

The investigations of the *Central Aero-Hydrodynamic Institute* of Moscow are directed to the magnitude and geographic distribution of wind energy, the economic and service properties of existing wind wheels, together with the dynamos, the construction of new types and the continuous wind observations of the 1387 meteorological stations in the European part of the country. For small diameters slow movers have been developed, and for over 8 meters, 3—6 bladed fast rotors with automatic adjustable propeller profiles; these have been tested partly in the wind tunnel, and partly on the experimental tower of the institute. A. C. generators will supply the energy to the existing current net. An experimental set of this type with a wheel dia. of 30 m and 140 HP is being built for Crimea. Later it is to work together with a whole system of such generators on the overland transmission.

Trend of Development

Notwithstanding the disparity of the research subjects, we nevertheless recognise common tendencies. The strong competition of the

[2] An [illegible] publication by Prof. Dr.-Ing. *H. Thoma* appeared in the "[illegible] No. 22 under the title of "Hydraulische Dämpfung der [illegible] damping of wire oscillations by perforation of the hollow [illegible]

nations e. g. according to the Italian report (Grazioli) the aim, *supported by law*, of the utmost utilisation of the energy holder, the dawning consideration for the saving of the indigenous raw material resources, increase of speeds, the necessity of reducing the disturbances and annoyances, lead in an ever increasing measure to the *utilisation of constantly higher and more scientific means and methods* of technical research. State and industry recognise the fact that it has an economic sense not to break down the expensive and difficult experiments after the first useful results, and to rebuild these at a considerable expenditure of time and labour for the next problem. Instead of sporadic "trying", farsighted *organised research work* has become the essence and backbone of *all* human endeavour at rationalisation and improvement.

This scientific principle of work has been followed for several decades by the advanced and universally inclined engineers. The chemical, optical and electrical industry owe it their special position, also as regards efficiency. Since the war this principle has also been able to assert itself in other directions of which the steam investigations of *Callendar* or the American research work on the gasoline engines and heat transmission, give ample proof. Technical and physical methods are constantly converging, and in an increasing degree the stimulation given by considering even remote subjects, is taking a fair footing. The inner *clearness and perfection of technical forms and aims* will serve other fields of human work such as the pure economic and political ones, more and more as an example.

In particular it may be said that a closer contact between the different research lines (electro-dynamics and hydrodynamics, civil and mechanical engineering, heat and flow research etc.) would be in the interest of the adjustment and rationalisation of the research work itself. International research organised on strict business lines would bring ample reward, also of an idealistic nature. For this, notwithstanding their service in healthy competition in a pure technical field, the more scientific problems of a general and deeper value are most suitable.

Points for Discussion

1. Efforts at the utilisation of the remaining contents of oilbearing sands.
2. Transfer of heat through radiation of technically important solid and gaseous bodies.
3. Process of combustion and explosion in combustion engines.
4. Criticism of water gauging methods with the addition of salt solutions.
5. The advantages of dimensionless representation of hydraulic and thermal co-efficients of flow.
6. The economic problem of large wind power plants.

Rapport général

Travaux de recherches

Prof. Dr.-Ing. Föttinger

Les rapports s'occupent des cinq domaines d'investigation suivants:

a. Combustibles et leur consommation

Rapport No. 357: Études expérimentales sur les sables imprégnés (France)
M. Louis

A *Pechelbronn* (Alsace) après épuisement à la sonde il reste encore 70 à 75% de l'huile brute originelle dans le terrain sableux quartzeux. L'étude détermine les degrés de saturation de ces sables en vue d'une exploitation ultérieure éventuelle de l'huile résiduelle. On imprégna le sable dans le vase de mesure avec de l'eau ou de l'huile sémifluide de *Pechelbronn.* On mesura le volume total, le volume liquide ainsi que leur poids. Après avoir laissé égoutter le sable, le volume retenu par chaque grosseur de grain est plus fort pour l'huile que pour l'eau et normalement plus grand dans les couches inférieures que dans les couches supérieures. La saturation est d'autant plus grande que les grains sont plus petits.

Rapport No. 124: Drei Jahre Associazione Nazionale per il controllo della combustione in Italien (Italien)
Ing. V. Grazioli

En 1926 une loi a réuni en Italie les sociétés de révision des chaudières, qui ont travaillé jusqu'alors indépendamment les unes des autres, en une Association Nationale pour le contrôle des combustions, laquelle a deux buts: la surveillance de la sécurité de tous les vases sous pression et la surveillance régulière de l'utilisation la meilleure possible de tous les combustibles. Après avoir fixé des prescriptions de normalisation, l'association étudie à fond le problème de l'utilisation économique, de la production et de l'amélioration des combustibles importés, ou de ceux que l'on trouve en petites quantités en Italie, et qui sont souvent de mauvaise qualité et d'une exploitation qui ne rapporte pas. Ce sont par exemple: la braise de branchages, l'huile asphaltique, le pétrole lourd de Raguse, l'huile brute extraite de lignites et de charbons de Sardaigne. On favorise leur utilisation économique par la création et l'entretien d'écoles de chauffeurs, de collections, par des publications, des prescriptions de normalisation, par le contrôle des fours industriels, par des concours, en particulier pour des automobiles avec combustibles italiens, gazéifiés dans des gazogènes, ou liquides.

Le contrôle obligatoire commence déjà à jouir d'une grande popularité à cause des résultats économiques.

Rapport No. 145: Fuel Investigations and Research in Canada (Canada)
B. F. Haanel

Le rapport s'occupe des grandes réserves canadiennes non encore entamées de houille, de lignite, de tourbe, de sable asphaltique, de schistes bitumineux, de pétrole et de gaz bitumineux. Leur éloignement, et la faible densité de la population sont la cause qu'au Canada les procédés d'extraction et d'amélioration employés avec succès dans des pays industriels plus peuplés, ne rapportent pas. Comme on importe en outre beaucoup de pétroles et d'huiles des Etats-Unis, les recherches servent plutôt à déterminer et à faire appliquer des procédés particuliers pour les combustibles indigènes, et bien moins à des buts purement scientifiques. La collaboration des autorités des mines avec le Fuel Board qui s'oriente vers une activité économique, et avec les Universités de Gill, d'Alberta et d'Halifax, a produit de beaux résultats quant à la cokéfaction à basse température, l'utilisation des sables bitumineux pour la construction des chaussées et pour la production d'huiles, de même que pour la récupération des huiles de schistes bitumineux, de l'utilisation du gaz naturel, etc.

b. Chaleur et transmission calorifique

Rapport No. 79: The Properties of Steam at High Pressure and Temperature (Great Britain)
G. S. Callendar

Le professeur *Callendar* dont nous regrettons la mort récente, a fait, en collaboration avec son fils, pendant ces dernières années des recherches de grande envergure, pour lesquelles il a joui de l'appui de l'industrie électrique anglaise. Il s'agissait des chaleurs internes et des chaleurs spécifiques de la vapeur à très haute pression, soit jusque 280 atm.

Callendar a employé et perfectionné les méthodes de mesure, les appareils et les formules de son invention.

Le présent rapport décrit les méthodes et les appareils employés. La méthode la plus exacte donne immédiatement la chaleur interne d'un courant continu de vapeur en la détendant à travers un étranglement à la pression atmosphérique et en la condensant. On étudia spécialement la région critique pour vérifier avec certitude les théories respectives. De légers encrassements dûs à la poussière ou à l'air diminuent la pression de saturation, surtout dans la région critique.

Une réunion de spécialistes étrangers assemblés à Londres en 1929 a préparé un tableau des grandeurs standardisées futures et internationales.

Rapport No. 243: Researches on Heat Transmission and Insulation (U.S.A.)
W. V. A. Kemp, Prof. W. H. McAdams, Prof. H. C. Hottel et Prof. R. H. Heilman

Les comités du *National Research Council* s'occupent de la normalisation, de la publication des résultats, des recherches concernant les iso-

lants en y comprenant les traités à ce sujet. Ils soutiennent les départements de recherches de la Harvard-University et de la Cornell-University, du Massachusetts-Institute, et du Worcester-Institute.

Les différents rapports donnent une idée très claire de l'état actuel des recherches; ils contiennent une abondante bibliographie et donnent de nombreux renseignements d'application pratique.

1. Transmission calorifique entre fluides et solides. Conductibilité et convection. W. H. McAdams

Après avoir discuté la théorie de la couche superficielle («Film») et des coëfficients de transmission, d'après les méthodes par analogie de *Reynolds* et de *Nusselt*, l'auteur s'étend sur des recherches américaines faites pour tâcher d'éliminer les causes nombreuses d'erreurs, p. ex., la faute commise dans la détermination intermédiaires de la température moyenne des courants plans, les déterminations par l'emploi de vapeur saturée et par la mesure de l'eau condensée, la propriété des surfaces, la faculté de reproduire les essais, le contrôle des chutes de pression. En dernier lieu, suivent des symboles et des représentations normalisés.

2. Transmission de chaleur par rayonnement. H. C. Hottel

L'auteur étudie une série de cas pratiques de rayonnement de corps solides, en se basant sur les lois de *Stefan-Boltzmann*, de *Kirchhoff* et sur le principe de *Lambert*, et celà, par analogie avec des problèmes de la photométrie et de l'éclairage. Le Prof. *Bidwell* étudie expérimentalement les écarts du principe de *Lambert*. Après une énumération de problèmes non encore résolus (rayonnement dans des masses granulaires, etc.) suit un examen du rayonnement important de *nuages poussiéreux incandescents* (flammes de charbon pulvérisé et flammes lumineuses) et de son augmentation par des phénomènes de cracking dans la flamme. On traite enfin les problèmes des gaz transparents: l'influence de la vapeur d'eau, de la chute de température dans le gaz, des vapeurs métalliques, etc.

3. Transmission calorifique à travers les isolants. R. H. Hoilman

L'auteur explique l'importance de la *conductibilité* calorifique pure; aussi dans les espaces d'air des isolants à pores fins. Si les espaces d'air sont petits, le rayonnement tend vers zéro; s'ils sont grands, il est important, particulièrement pour de hautes températures. Les limites sont énumérées. La convection, au contraire, est toujours nulle. Des diagrammes démontrent les économies faites avec les peintures métalliques, en particulier pour des armatures rugueuses.

Rapport No. 306: Apparatus for Determining Thermal Conductivities and Specific Heats of Structural and Insulating Materials (Russia)
Ing. D. L. Timroth

Un premier appareil pour des épreuves sur plaques, avec *circulation parallèle*, circule sans ceinture protectrice supérieure. Il semble que

l'exactitude n'en souffre pas. Suit la théorie exacte d'un *nouvel appareil* dont la forme cylindrique permet de réaliser avec précision les conditions limites: serpentin plan annulaire pour le chauffage, couvert de la plaque de mesure ayant une épaisseur de 0,1 R à R, diamètre 120 mm, en dessous, une plaque tout aussi grande en carbolite, le tout étant enfermé étroitement dans le réfrigérant avec conduites d'eau doubles en forme d'hélice, les interstices étant remplis de corosine. Pour calculer les tableaux donnant la solution, on se servit des séries de Bessel. On peut aussi déterminer les coëfficients de transmission calorifique par une méthode en *régime non stationnaire*, en se servant du *courant initial*. Des essais ont confirmé la théorie.

Rapport No. 298: Die Erforschung der Gasbewegung in Heizapparaten nach Modellen (Rußland)
Prof. M. W. Kirpitscheff

On a étudié les courants, p. ex., le déversement de gaz chauds sur un seuil, au moyen de modèles hydrauliques, d'après la méthode de *Dworjak*, avec des filets liquides coloriés, dans le laboratoire physico-technique de l'Etat. Les différences entre les agents intermédiaires et les rapports des valeurs ne permettent en général pas une analogie physique parfaite entre l'écoulement de fluides et la conduction calorifique, mais cette analogie n'est pas nécessaire à un tel point pour la plupart des phénomènes principaux. Une distribution continue des vitesses et un remplissage continu des sections transversales (Théorie des prof. *Grum-Grjimailo et Esmann*) ne s'observent qu'avec des caractéristiques de *Reynolds* petites. Au delà de la valeur limite, il y a un mélange turbulent. On a étudié entr'autres des écoulements dans des économiseurs, confirmés sur nature et améliorés par des grilles à aubes. La méthode fait prévoir encore des améliorations en dehors de l'écoulement.

c. *Moteurs à essence*

Rapport No. 264: Scientific Research in the United States on Gasoline Engines (U.S.A.)
H. C. Dickinson

Le rapport, malheureusement arrivé en retard, passe complètement en revue les dernières recherches scientifiques des laboratoires spéciaux américains et des universités, de l'armée et de la marine et du Conseil National de l'Aviation sur les problèmes du moteur à essence, problèmes qui sont nés du désir d'augmenter la puissance par cylindre, le rendement économique, le silence, le nombre de tours, la pression moyenne, la résistance au cognage, l'exactitude de l'allumage et de la combustion, etc. . . .

On a étudié très soigneusement les oscillations des ressorts de soupapes, théoriquement et au moyen d'oscillographes. On les a supprimées par une levée variable et par un profil de came approprié. De même, on a soumis à des études sérieuses la question du recouvrement des temps d'ouverture des soupapes, de l'emploi d'agents ayant une température élevée jusqu' à 150° pour le refroidissement, de la comparaison entre le

refroidissement à l'eau et le refroidissement à l'air, de la meilleure construction des nervures de radiation, de l'influence de la situation relative du carburateur et des organes de distribution aux cylindres sur la vitesse de démarrage, enfin de l'influence du mode d'allumage sur la propagation de l'explosion.

On a examiné les problèmes de la pression, de la température et de l'humidité de l'air pour des moteurs avec ou sans compresseur, pour des altitudes allant jusque 9500 m, dans le laboratoire et la chambre des altitudes du Bureau of Standards. Enfin, le professeur *Stevens* y a commencé des essais très approfondis sur les vitesses de propagation de l'explosion, et sur la propagation des ondes directes ou réfléchies pour des pressions constantes ou croissantes.

d. Mesures hydrauliques et hydrologie[1].

Rapport No. 155: Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflußmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen (Norwegen)
Ing. J. Aastad et Ing. R. Sögnen

Dans cette méthode à «*dilution relative*», on mélange à l'eau un volume connu d'une solution, pendant un temps donné, soit d'une façon uniforme, soit d'une façon variable. A un endroit convenable, à l'aval, on mesure alors le degré de *dilution* (le rapport entre le volume de solution et d'eau courante) en fonction du temps (méthode dite au diagramme) ou comme valeur moyenne d'un échantillon d'eau recueilli pendant un temps donné (méthode à échantillon). La mesure se fait au pont à courant alternatif. Pour faire ces déterminations, on doit construire expérimentalement la courbe qui donne la conductibilité en fonction de la dilution relative. La solution saline doit être distribuée uniformément en arrivant à l'endroit où se fait la mesure, c'est-à-dire aux électrodes. On a employé cette méthode avec succès depuis 1927, aussi pour des essais de turbines, pour des débits atteignant 30 m³/sec.

Rapport No. 216: Contribution à l'étude de l'écoulement en déversoirs (Suisse)
Dr. M. Golaz

On propose l'emploi du principe plus général de la *plus grande puissance caractéristique* au lieu du principe du maximum du débit, qui n' a qu' une valeur relative. Ce principe s'énonce: Le produit du débit par la distance du centre de gravité de la section à la ligne de charge est maximum. Tout écoulement uniforme et stable doit y satisfaire. L'application pratique se heurte à des difficultés analytiques insurmontables, mais au contraire on a pu vérifier que le principe est valable, par deux exemples pour le calcul des courbures et de la distribution des vitesses:

[1] Au congrès international de mécanique appliquée, à Stockholm, en 1930, on donnera un rapport sur le phénomène particulier [illegible] de la turbulence rotationnelle qui a été constaté par le rapporteur, de[illegible] pompes. Par suite du tourbillonement [illegible] luites des transmissions à turbomultiples très grands de leur valeur [illegible] frottement [illegible] élever à des [illegible] a pu produire sans difficulté spéciale un frottement 80 à 100 fois plus gra[illegible] rapporteur.

1. *A un déversoir circulaire.* La combinaison d'une hypothèse plausible pour les rayons de courbure des filets liquides avec une hypothèse de la théorie de potentiel soumise au calcul par approximations successives donne des résultats concordant d'une façon satisfaisante avec des essais sur modèles.

2. *A un déversoir à filets liquides presque horizontaux* où le principe de *Bélanger* est aussi valable.

Il serait intéressant de rechercher si le nouveau procédé est plus simple que le principe général de l'écoulement potentiel.

Rapport No. 2: Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy (Schweiz)
Dr.-Ing. A. Strickler

A la session de *Bâle*, de 1926, on avait demandé aux Comités Natiaux de la Conférence Mondiale de l'Energie, de proposer des méthodes universelles pour la détermination des coëfficients de rugosité des formules de Chézy pour la détermination des vitesses, au moyen du rayon hydraulique et sur la chute $v = c\sqrt{RJ}$. Le *Dr. Strickler* de l'administration fluviale suisse a réuni dans le présent rapport les propositions faites par la Pologne et la Suisse, et celles déjà faites à la session de *Bâle*. Il communique en même temps les efforts faits par les Comités suédois, suisse, polonais et anglais à ce sujet, de même qu'une énumération et une critique des formules principales pour les cours d'eau, les canaux et les tuyaux, en se servant des résultats d'essais récents. Le rapporteur recommande une formule universelle à trois termes, d'une expression assez simple, qui contient d'autres formules, telles que celle de *Gauckler*, comme cas particuliers, et il donne des coëfficients de rugosité correspondants. Malheureusement la représentation n'est pas encore sans dimensions.

Rapport No. 181: Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne mit starken Neigungen (Schußtennen) und Berechnung der Selbstbelüftung des Wassers (Österreich)
Ing. R. Ehrenberger

Actuellement on emploie des conduites en caniveau lisse à la place des déversoirs dits à cataracte employés autrefois pour les châteaux d'eau des installations hydroélectriques. A cause de la grande résistance provenant de la pénétration d'air, les formules ordinaires de frottement ne sont valables que pour des pentes moindres que 1 à 1,5%.

On détermina la distribution des vitesses et le degré d'aération au moyen des tubes de *Pitot* et de flotteurs lumineux dans un caniveau en bois ayant une largeur de 0,25 m à la base et pour des pentes atteignant $\sin \alpha = 0{,}7$. Les nouvelles formules donnent ces valeurs en fonction du rayon hydraulique et des $\sin \alpha$; les valeurs trouvées correspondent bien à des observations d'après la pratique, faites sur des caniveaux. L'aération automatique commence pour une vitesse = environ 4 m/sec.

Rapport No. 1: Vorschläge für die Bestimmung der Feststoffführung der Gewässer (Österreich)
Österreichisches Nationalkomitee

Dans ce rapport, on propose, sur l'invitation du Bureau de Londres de la Conférence Mondiale de l'Energie, des directives internationales pour la détermination courante de l'entraînement des *corps en suspension et des vases* dans les ruisseaux, les rivières et les fleuves. Ces procédés sont prévus pour compléter les mesures du débit au moyen de l'observation du fluviomètre. Les auteurs proposent des prescriptions de normalisation pour les procédés de prise d'échantillon et de séparation (évaporation et filtration), pour l'utilisation des statistiques et pour la prise des vases et le filtrage en corrélation avec des sondages et des mesures hydrauliques.

e. *Energie éolienne* [2]

Rapport No. 307: Die Arbeiten des ZAHI auf dem Gebiete der Ausnützung der Windenergie in der U.d.S.S.R. (Rußland)
Ing. W. R. Sektorow

Les recherches de *l'Institut Central Aérodynamique* à Moscou se rapportent à la grandeur et à la distribution géographique de l'énergie éolienne, aux avantages et aux particularités du fonctionnement des roues éoliennes, avec dynamo, à la construction de types nouveaux, et aux mesures continues de la force et de la direction du vent dans 1387 stations météorologiques d'Europe. On a perfectionné des roues lentes pour les petits diamètres, et des roues rapides ayant de 3 à 6 pales tournant automatiquement pour des diamètres dépassant 8 m. On les a essayées, en partie dans le tunnel aérodynamique, en partie sur la tour d'essai de l'institut. Des génératrices asynchrones fourniront le courant à un réseau triphasé. On construit pour la Crimée une installation d'essai avec des roues de 30 m de diamètre et développant une puissance de 140 CV. On veut la faire fonctionner avec toute une série de pareilles génératrices sur le réseau interurbain.

Développement

Nous retrouvons des tendances communes dans les domaines d'investigations les plus variés. Partout on s'efforce de *produire des auxiliaires scientifiques de plus en plus parfaits* pour les recherches techniques. Cette tendance résulte de la grande concurence entre les nations. Ainsi le rapport italien de Grazioli relate que la *loi* oblige à utiliser le mieux possible les sources d'énergie, partout on voit se manifester le désir de ménager les sources de matières premières du pays, on augmente les vitesses, et partout s'impose la nécessité de réduire au minimum les causes de perturbations et d'inconvénients. Les Etats et les industries reconnaissent qu'il est économiquement logique de ne pas interrompre une série coûteuse d'essais, déjà lors du premier résultat utilisable,

[2] Une [illegible] cernant «Hydraulische Dämpfung der Leitungsseilschwingungen» ([illegible] oscillations des câbles conducteurs à l'aide de perforations des [illegible] dans l'Elektrotechnische Zeitschrift 1930 fasc. 22.

ce qui a comme résultat qu'à la prochaine occasion il faut recommencer à grands efforts. A la place des essais faits au petit bonheur, on voit partout s'organiser *des recherches systématiques* qui servent de base à *tous* les efforts des hommes pour la rationalisation et le perfectionnement.

Depuis des dizaines d'années, ce principe scientifique sert de profession de foi à des ingénieurs qui soutiennent le progrès et qui ont un développement universel. Les industries chimique, optique et électrique lui doivent leur position particulièrement favorable, aussi au point de vue de la productivité. Depuis la guerre, ce fait s'est aussi affirmé dans d'autres domaines, ce dont témoignent les recherches de *Callendar* sur la vapeur et les recherches américaines sur les moteurs à essence et sur la transmission calorifique. De plus en plus s'observe un rapprochement entre les méthodes techniques et physiques, de plus en plus l'activité provenant de la considération des domaines connexes même très écartés donna lieu à des résultats féconds. *La clarté et la pureté interne de l'activité et des tendances de la technique* pourront de plus en plus servir d'exemple pour d'autres domaines de l'activité humaine, comme celui de l'économie pure et de la politique.

En particulier, il est encore désirable que les domaines différents d'investigation (électrodynamique et hydrodynamique, génie civil et mécanique, recherches sur la transmission calorifique et sur l'écoulement des fluides, etc.) entrent plus en contact, dans l'intérêt de la compensation et de la rationalisation des recherches mêmes. Une *collaboration internationale, pratiquement organisée*, serait d'une grande fécondité, aussi au point de vue intellectuel. Les séries de questions plutôt scientifiques, générales et profondes, seraient toutes indiquées à cet effet, sans négliger l'utilité d'une concurrence bien comprise dans le domaine purement technique.

Propositions de discussion

1. Efforts pour la récupération des huiles résiduelles des sables imprégnés.
2. Transmission par rayonnement des solides et des gaz techniquement importants.
3. Echappement et explosions dans les machines à combustion.
4. Critique des méthodes de mesure hydraulique au moyen de solutions salines.
5. Avantages de la représentation de dimension nulle des coëfficients d'écoulement hydraulique et thermique.
6. Avantages économiques des grandes installations de force motrice éolienne.

Diskussionsbericht

Forschungsarbeiten

Prof. Dr.-Ing. Föttinger

An der Diskussion nahmen die folgenden 12 Herren teil:

Fellenius, W., Prof., Techn. Hochschule, Stockholm.
Föttinger, A., Dr.-Ing., Prof., Techn. Hochschule, Bln.-Wilmersdorf, Berliner Str. 65.
Gröger, O., Dr.-Ing., Oberbaurat, Ziviling., Wien I, Schubertring 12.
Kirpitscheff, Prof., Phys. Techn. Institut, Leningrad 21.
Lapiroff-Skodo, M., Prof., Moskau, B. Dmitrowka 9.
Münzinger, F., Dr.-Ing., Dir., AEG, Berlin NW 40, Friedrich-Karl-Ufer 2.
Opacki, J., Ing., Inspektor, Städt. El.-Werke, Wien XIII, Maxingstr. 60.
Petri, J., Dr., Berlin NO 55, Jablonskistr. 32.
Prandtl, L., Dr.-Ing., Dr. phil., Prof., Dir., Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, Göttingen, Calsowstr. 15.
Rehbock, Th., Dr.-Ing., Geh. Oberbaurat, Prof., Techn. Hochschule, Karlsruhe.
Soldan, W., Dr.-Ing., Geh. Baurat, Leiter d. Landesanstalt für Gewässerkunde, Berlin-Steglitz, Robert-Lück-Str. 2.
Strickler, A., Dr.-Ing., Dir., Schweiz. Kraftübertragung AG., Bern, Optingenstr. 16.

Zum Bericht 243 und 298 äußerte sich *Münzinger*-Deutschland über Strahlungsfeuerräume. Er forderte einfache, leicht verständliche Form für die Ergebnisse der Erforschung von Strahlungsvorgängen und internationale Festlegung einheitlicher Bezeichnungen.

Opacki-Österreich berichtete über Prüfergebnisse an Kochplatten und schlug vor, bei Prüfung elektrischer Heizgeräte ganz allgemein die Größen „Kapazität" und „Übertragungswirkungsgrad" als Grundlage der Bewertung zu wählen.

Zum Bericht 155 machte *Föttinger*-Deutschland Mitteilung über Versuche, die oft schwierige und unsichere Wassermessung bei Wirkungsgradversuchen durch Temperaturmessung zu umgehen. Die dazu nötigen Meßapparte müssen Ablesegenauigkeit von zehntausendstel Graden zulassen. Seine bisherigen Versuche erstrecken sich auf große Wassermengen und kleine Gefälle und ergaben bei systematischer Klärung und Beachtung aller möglichen Fehlereinflüsse Übereinstimmung mit der Wassermessung bis auf rd. 1,5 v. H.

Zu der im Bericht Nr. 2 und 2a erörterten Geschwindigkeitsformel für natürliche Flußgerinne und Ströme nahmen *Strickler*-Schweiz, *Gröger*-Österreich und *Soldan*-Deutschland das Wort. Sie berichteten über eigene Versuche und daraus hergeleitete Folgerungen. Bevor man Geschwindigkeitsformeln aufstellen kann, müssen noch für möglichst viele Flußstrecken die Geschwindigkeiten, hydraulischen Radien, Gefälle und die gleichzeitigen Wassertemperaturen bestimmt und aufeinander bezogen werden (vgl. Antrag auf Seite 328).

Rehbock-Deutschland sprach seinen Zweifel darüber aus, ob es gelingen könne, allgemein gültige Abflußformeln mit Beiwerten abzuleiten, die reine Zahlenwerte seien. Die Voraussetzung hierfür trifft nicht in allen Fällen zu. Der Abfluß in natürlichen Flüssen wird durch die Bankbildung beherrscht. Versuche im Karlsruher Flußbaulaboratorium ergaben die Möglichkeit, die Bankwanderung im Modellflußbett rd. 60mal zu beschleunigen. Dadurch sei es möglich geworden, die langsamen Umbildungen der Flußbetten in der Natur im Modell in so sehr gekürzter Zeit zu erzielen, daß eine Ausnutzung der Modellversuche auch für das Studium der Bettumbildung in der Natur möglich wäre. Auch die Aufstellung von Abflußformeln für die Naturflüsse kann aus solchen Versuchen Nutzen ziehen.

Prandtl-Deutschland führte zu der Frage aus: Die Ingenieure sind nach Strickler zufrieden mit Formeln, die dimensionsbehaftete Beiwerte enthalten. Die Wissenschaftler ziehen dagegen dimensionsrichtige Darstellung vor. Dies ist nicht nur ein Schönheitsbedürfnis, sondern es zeigt sich, daß jedesmal bei der Herstellung der Dimensionsrichtigkeit eine Vertiefung der Einsicht in die Vorgänge erreicht wird. Die von Strickler als besonders gut bezeichnete Gauklersche Formel ist in gutem Einklang mit Versuchen an rauhen Rohren, die in Göttingen und Aachen gemacht sind. Der Rauhigkeitsparameter wird sich unmittelbar auf die Korngröße zurückführen lassen.

Fellenius-Schweden hielt Fortsetzung der Erörterung über die Geschwindigkeitsformel für notwendig. In Schweden wird eine Formel von Hessle benutzt, die keinen Rauhigkeitskoeffizienten enthält und der Praxis gut entspricht. Um die weitere Erörterung zu erreichen, schlug Fellenius vor, daß eine Resolution gefaßt werde, die Frage der Geschwindigkeitsformeln weiter zu behandeln.

Die Feststofführung der Gewässer war in Bericht 1 behandelt. Hierzu äußerte sich *Soldan*-Deutschland. Er forderte ausgedehnte Forschung, damit später für diese theoretisch und praktisch große Bedeutung besitzenden Aufgaben Normen aufgestellt werden können.

Einen neuen Weg zum Bau einer Sonnenkraftmaschine empfahl *Petri*-Deutschland. Zur Vermeidung von Nachteilen bei bisher ausgeführten Anlagen in Kairo und Los Angeles wird ein Aufnahmeparaboloid mit einem Ellipsoid derart zusammengefaßt, daß ein Brennpunkt des letzteren mit dem des Paraboloids zusammenfällt. Hierdurch wird es möglich, Wärmemengen, die in verschiedenen Reflektoren aufgenommen wurden, zu vereinigen.

Über die wissenschaftlichen Forschungsanstalten in U. d. S. S. R. berichtet des längeren *Lapiroff-Skoblo*-U. d. S. S. R. Er ging auf 15 Institute näher ein. Schließlich sprach *Kirpitscheff*-U. d. S. S. R. über die Darstellung von Versuchsergebnissen in dimensionslosen Koordinaten.

Gesamtergebnis der Diskussion

Die Verschiedenheiten der behandelten Forschungsgebiete läßt in der Diskussion eine gemeinsame Grundrichtung nur schwer erkennen. Es

wurde vorwiegend über Untersuchungen auf dem Gebiet der Wärme-übertragung und der Wassermessung und Gewässerkunde berichtet. Es zeigte sich, daß besonders auf dem Gebiete der Wassermessung noch weitgehende Versuche nötig sind, um Klärung über die verschiedenen Vorgänge der Strömung zu gewinnen. Dabei ergab sich das Bestreben nach einfachen Formeln. Internationale Bezeichnungen sind besonders für Strahlungsvorgänge zu erstreben, da sie die Verwendung auch auf andere Forschungsarbeiten erleichtern.

Es wurde folgender Beschluß gefaßt:

Mit Bezug auf die Beschlußfassung der Teilkonferenz in Basel 1926 wird als erwünscht erklärt, daß die Bestrebungen zur Aufstellung einer *einheitlichen Formel für die Geschwindigkeit des Wassers* in Kanälen und Rohrleitungen fortgesetzt werden, und daß auf den nächsten Konferenzen eine besondere Sitzung diesem Gegenstand gewidmet wird.

Result of Discussion

The difference of the fields of research dealt with made it rather difficult to recognise any common basis in the discussion. The report dealt chiefly with investigations in the spheres of heat transmission, hydrometry and hydrography. It was evident, that especially in hydrometry extensive investigations will have to be carried out still in order to obtain a clearer insight into the varions processes responsible for currents. A desire for simple formulas was clearly diserrible. International designations for radiation processes would be welcomed as they will be sure to greatly facilitate research work on other fields.

The following resolution was passed: With reference to the resolution passed at the Basle Conference of 1926 it be herewith declared desirable to continue the efforts towards establishing a uniform formala for the velocity of water in canals and pipelines and to set aside a special meeting to deal with this subject at the next conferencces.

Résultat de la discussion

La diversité des domaines de recherches traités ne permet que difficilement de trouver une direction de base commune dans la discussion. On a principalement rapporté sur les enquêtes dans le domaine de la transmission et de la mesure de la chaleur, ainsi que sur l'hydrologie.

Il s'est montré qu'en particulier dans la mesure de l'eau il fallait encore faire des recherches approfondies pour établir clairement les diverses opérations du courant. On a remarqué qu'on cherche à obtenir des formules simples. On doit s'efforcer en particulier d'avoir des désignations internationales pour les opérations du rayonnement, parce qu'elles facilitent l'utilisation d'autres travaux de recherches.

On a pris la décision suivante: En se référant à la décision prise à la Conférence partielle de Bâle en 1926, on déclare désirable que les efforts pour établir une *formule unique pour la vitesse de l'eau dans les canaux et canalisations* soient poursuivis et qu'aux prochaines Conférences, il soit réservé une séance spéciale à cette question.

Section 33

NORMUNGSPROBLEME UND METHODIK DER STATISTIK

STANDARDISATION PROBLEMS AND THE RATIONALISATION OF STATISTICS

PROBLÈMES DE LA NORMALISATION ET MÉTHODES DE LA STATISTIQUE

Vorsitzender — Chairman — Président

Jr. M. H. Damme (Holland)

Stellvertr. Vorsitzender — Vice Chairman — Vice President

Ing. R. Vysockis (Litauen)

Berater — Assistant — Assesseur

Reichsbahndirektor Dr. K. Steuernagel (Deutschland)

Generalberichterstatter — General Reporters — Rapporteurs Généraux

Dr. Ing. F. Neuhaus und Dr. W. Leisse (Deutschland)



Nr. 106

Great Britain

The British Standardisation Movement and its Public Significance

British National Committee

C. Le Maistre

I

I have been much honoured by the invitation of the British National Committee of the World Power Conference to prepare a short paper on the Standardisation Movement in British Industry. The subject, however, is so far reaching and has so many aspects that I have thought it wise to be guided, as far as possible, by the excellent "Sheet Ke" issued by the German National Committee, and purpose to limit myself to describing as shortly and as concisely as possible its origin, its underlying principles and procedure, its progress and as far as one is able to judge, the general trend of the Movement in this country. Particularly will the question of public interest in it, both technical and financial, be dealt with, as being a measure of the value attached to it. The international side will also be briefly touched upon.

II

The development of industrial standardisation in Great Britain, as many of you already know, is inseparably bound up with the work of the British Engineering Standards Association, with which I have been connected since almost its inception. I need hardly say how great a privilege I deem it to have been so long connected with the Movement.

Without attempting to suggest the origin of industrial standardisation, or to deal with its early history, it may be said that, as in many other countries, so in Great Britain standardisation commenced with the efforts of individual firms and much has been accomplished by such firms which has rebounded to their credit as well as their benefit. Necessity gradually brought about collective action.

In 1895 the idea of co-operative action on a national basis received an impetus through a London steel merchant, Mr. *H. J. Skelton*, who wrote to "The Times" urging that something should be done to reduce the enormous variety of steel sections which the merchants had to stock. This culminated in 1901 in definite action being taken by the leading Technical Institution in the country. The Institution of Civil

Engineers, the Council of which at the suggestion of the late Sir *John Wolfe-Barry*, appointed a committee of six members to deal with the subject of Steel Sections. The four other leading technical institutions were invited to co-operate in this work and almost at once the terms of reference of this Standardisation Committee were enlarged to consider other subjects as well as the original one of Steel Sections. As early as 1903 the question of a British Standard Specification for Cement was undertaken. Electrical subjects were early surveyed from the point of view of standardisation.

The Committee recognised from the very inception of the work that one of the important results to be achieved through standardisation was the discouragement of the use of varying specifications by individual bodies and persons, when one national or standard specification would serve the purpose. They felt, however, that to achieve this, the Movement must imperatively be given an official character. In this connection the very full support which the leading technical institutions as well as the Government, accorded the Committee from the outset was of the highest value to the organisation. Indeed, it was felt that the British Government with its large spending departments should as soon as possible be persuaded to give both its moral as well as its financial support, and these were forthcoming.

I might say here that over 400 technical officers of the Government Departments assist in the work as members of the various committees.

It will thus be seen that over a quarter of a century ago the leading engineers in Great Britain had the vision to see the necessity of a national, in contra-distinction to a sectional effort, and it is not too much to say that the value and advantage of a central co-ordinating influence directing and harmonising the Movement has, if anything, increased with increased experience.

Thus from this small beginning of one committee of six members has grown the present very representative organisation with some 500 committees including many hundreds of engineers, industrialists and ordinary business men who without fee or recompense give so *willingly* of their time and experience to this national work.

III

Great Britain comparatively speaking is a small country, the distances are not great. Consequently there is this quite considerable advantage, that it is possible to organise, with success, meetings both in London and the chief industrial centres, for firms are usually willing to allow their technical officers to attend such meetings. The advantage to be gained through co-operating in the standardisation movement is evidently recognised for the meetings are all well attended.

There is also the great advantage that the different branches of industry have become well organised particularly so during the past ten years, and standardisation can therefore proceed along methodical lines for it is possible to obtain the collective opinions of whole industries as against the views of individual firms or persons. Indeed, it is on

this collective basis alone that in our country we find industrial standardisation to be really successful.

It is true that the purchasing side is not as well organised as the producing side and this leads some to fear that the work may at times and in certain directions come too much under the influence of the producers. To counteract this tendency and to deal with other difficulties, certain well defined safeguards have been adopted.

IV

A number of underlying principles have gradually been evolved as a guide so as to offset the several inherent difficulties, and ensure, as far as is possible, that the recommendations shall be of the greatest benefit to the greatest number and so contribute to the profit and progress of our industries as a whole.

Whilst many fully appreciate the value of industrial standardisation and are quite conversant with these main principles as well as the procedure adopted by the Standards Association in Great Britain, there are still many critics in our country who misunderstand what is implied by the term "industrial standardisation" and fear it is a bar to invention and progress. They imagine that once a standard specification is drawn up and issued there is little likelihood of its being modified to meet changed conditions.

There is also a very real fear of over-standardisation, than which nothing to my way of thinking could be worse for the industry of our country; indeed, the utmost care has to be exercised to ensure that the increased efficiency brought about through unifying and simplifying the requirements of industry shall not be purchased at the extinction of individual initiative.

As Mr. *Ford* so well says in his book "Today and Tomorrow" there is a standardising which marks inertia and a standardising which marks progress. The work being carried on by the organisation in Great Britain is abundantly progressive; the fears of over-standardisation are unfounded and the criticisms as to stagnation are answered once the procedure adopted and the safeguards which are strictly applied are fully understood.

So far as Great Britain is concerned, industrial standardisation has come to imply a co-operative process and not a crystallisation; a unifying of the needs of industry rather than the setting up of ideal standards which may be too costly to adopt; not so much the setting up of the standardised pattern, interfering as it is so often likely to do with design, as the drafting of national specifications providing an equitable basis for the comparison of tenders. It is looked upon as a mutual affair, bringing together the producer, the distributor and the purchaser, whose interests are identical though their service to the community lies along different lines.

Standardisation "by consent" is probably the most important underlying principle adopted in all the work, and the one which has contributed more than any other to the confidence which industry has in the Move-